**Editora Chefe**
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
**Assistentes Editoriais**
Natalia Oliveira
Bruno Oliveira
Flávia Roberta Barão
**Bibliotecária**
Janaina Ramos
**Projeto Gráfico e Diagramação**
Natália Sandrini de Azevedo
Camila Alves de Cremo
Luiza Alves Batista
Maria Alice Pinheiro
**Imagens da Capa**
Shutterstock
**Edição de Arte**
Luiza Alves Batista
**Revisão**
Os Autores



Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.





Atena Editora
Ano 2021

Ciências Agrárias

# Aquicultura na Amazônia: estudos técnico-científicos e difusão de tecnologias

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
**Bibliotecária:** Janaina Ramos
**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista
**Revisão:** Os Autores
**Organizadores:** Bruno Olivetti de Mattos
Jakson Pantoja-Lima
Adriano Teixeira de Oliveira
Paulo Henrique Rocha Aride

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

A656 Aquicultura na Amazônia: estudos técnico-científicos e difusão de tecnologias / Organizadores Bruno Olivetti de Mattos, Jakson Pantoja-Lima, Adriano Teixeira de Oliveira, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Outro organizador
Paulo Henrique Rocha Aride

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-904-2
DOI 10.22533/at.ed.042211503

1. Aquicultura. 2. Região Amazônica. 3. Tecnologia. 4. Sustentabilidade ambiental. I. Mattos, Bruno Olivetti de (Organizador). II. Pantoja-Lima, Jakson (Organizador). III. Oliveira, Adriano Teixeira de (Organizador). IV. Título.

CDD 639.309811

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2021

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.



Atena
Editora
Ano 2021

# PREFÁCIO

O presente trabalho teve como desafio trazernos uma síntese e ao mesmo tempo procurar abranger uma ampla e importante gama de assuntos voltados ao desenvolvimento da aquicultura na região Amazônica, assim o mesmo nos apresenta, mais uma vez, o quanto esse assunto é importante como atividade ao desenvolvimento da produção animal na região Amazônica, na qual a diversidade de espécies e possibilidades de manejos, já é um grande desafio por si só. Sendo esse desafio em termos de oportunidades pelo lado da natureza investigatória daqueles que se dedicam a pesquisa, daqueles que buscam mais oportunidades de educação e entendimento do mundo que os cerca, como também oportunidades de fazer mais e melhor pelo desenvolvimento e bem estar dos seus pares através da produção de mais alimentos e melhor oportunidades nutricionais que podem ser oferecidas através desse conhecimento.

Conhecimento esse essencial e tão desejado nesses tempos em que a busca por uma produção de alimentos é crítica e necessária para ser avaliada e trazer tecnologias novas e mais eficientes que possibilitem, não só o aumento dessa produção, mais também um aumento de sua sustentabilidade ambiental, social e econômica. Sendo esse o papel fundamental de qualquer sociedade e por consequencia da sua estrutura de estado e organização social, que deve prover o correto direcionamento e meios financeiros necessários para atingir esses objetivos.

Por conseguinte nessa publicação observamos mais um degrau em direção a um objetivo maior, não só na divulgação do conhecimento acumulado até o momento, mas também possui em seu significado por ser mais uma etapa cumprida daqueles que se dedicam a produzir ciência e conhecimento, em uma região na qual, ainda busca mostrar o quanto ainda é necessário a continuidade de investimento em recursos humanos e financeiros ao seu pleno desenvolvimento.

Essa obra assim possui uma abrangência de tópicos e atualidades do manejo em aquicultura, não só para algumas das mais importantes espécies de peixes amazônicos, mas como também de toda uma gama de outros animais aquáticos com potencial de criação, seja voltada ao abate ou fins ornamentais.

Portanto assim é com imenso prazer que apresento essa nova publicação em formato de E-book com o tema de Aquicultura na Amazônia: Estudos Técnico-científicos e Difusão de Tecnologias.

Rodrigo Roubach

Senior Aquaculture Officer Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO/UN)

## A AQUICULTURA NA REGIÃO AMAZÔNICA

A aquicultura brasileira vem se desenvolvendo bastante num período recente. No ano de 2003 foi criada a Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca – SEAP/PR, depois transformada em Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), em 2009. Ainda em 2009 também foi criada a EMBRAPA Aquicultura e Pesca e publicada a Nova Lei da Pesca e Aquicultura de No 11.959.

Em 2003, o IBAMA era o órgão responsável por catalogar os dados oficiais da produção aquícola no Brasil e relatou uma produção de 278 mil toneladas de pescado cultivado naquele ano (IBAMA, 2004). Atualmente, o IBGE é quem publica a estatística oficial referente à aquicultura brasileira, tendo relatado uma produção de 574 mil toneladas no ano de 2015. Estes números nos dão a dimensão de um crescimento de 106% em 12 anos; ou seja, quase 9% ao ano.

A partir de 2015, com a extinção do MPA, este crescimento diminuiu sua intensidade. Em 2019, de acordo com o IBGE (2020), a produção aquícola brasileira foi de 599 mil toneladas, um crescimento de pouco mais de 4,3% quando comparado com 2005; ou seja, pouco mais de 1% ao ano.

Estes números refletem como a falta de governança e a ausência de uma estrutura organizacional voltada para o setor pesqueiro e aquícola afeta as políticas públicas e o desenvolvimento destas atividades no Brasil.

Porém, desde 2019, foi criada a Secretaria de Aquicultura e Pesca do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SAP/MAPA, que mesmo não trazendo de volta o nosso MPA, já nos dá um alento em relação às políticas públicas direcionadas ao desenvolvimento da aquicultura em nosso país.

De acordo com o IBGE (2020), a Região Amazônica produziu 97.341 toneladas em 2019, o que a coloca como a 2ª maior região produtora de peixe cultivado do país. A tabela 1 apresenta os dados de produção de peixe cultivado dos estados da Região Norte:

| Estado | Produção em 2019 (toneladas) | Posição no Ranking Nacional |
|---|---|---|
| Rondônia | 48.766 | 3º |
| Pará | 14.084 | 13º |
| Roraima | 11.056 | 15º |
| Tocantins | 10.963 | 16º |
| Amazonas | 7.982 | 18º |
| Acre | 3.629 | 21º |
| Amapá | 861 | 27º |
| TOTAL | | - |

Tabela 1: Produção de Peixe Cultivado por Estado da Região Norte

Fonte: IBGE (2020)

De posse destes dados, vemos que a aquicultura na Região Amazônica tem uma enorme importância, não somente para a região, mas também para todo o Brasil.

Porém, com exceção do estado de Rondônia, os demais estados da região ainda não aproveitam seu enorme potencial para desenvolver a piscicultura.

Para isto, é necessário que estes estados invistam em Planos Estaduais de Desenvolvimento da Aquicultura, que possibilitem a adoção de políticas públicas que possam promover o desenvolvimento desta atividade.

Portanto, é necessário divulgar e apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento da aquicultura na Região Amazônica. Este livro vem exatamente colaborar com esta missão. A participação de diversos autores e de renomadas instituições, com suas valiosas contribuições nos mais diversos temas, mostram a pujança econômica e acadêmica desta atividade na Região e tornaram possível esta publicação.

Este livro foi didaticamente dividido em seções e capítulos. A Seção A foi dividida em 4 capítulos e diz respeito aos sistemas de produção, citando diferentes tecnologias sustentáveis para a aquicultura na Amazônia. A Seção B, em seus 5 capítulos, faz um amplo relato sobre a Economia Aquícola e sua relação com as bases para o desenvolvimento técnico e econômico. Já a Seção C versa sobre Nutrição e Manejo Alimentar de Peixes Amazônicos e também possui 5 capítulos; enquanto a Seção D traz considerações sobre o importante tema da Reprodução e Preservação da Biodiversidade das Espécies de Importância Comercial, sendo dividida em 3 capítulos. Por fim, a Seção E, que trata sobre a Fisiologia e Sanidade Aquícola Aplicada à Piscicultura em seus 4 capítulos.

A aquicultura pode vir a ser o motor de um novo ciclo de desenvolvimento sustentável na Região Amazônica, além de ser uma das melhores ferramentas na luta contra a fome e a pobreza rural, na diminuição do desmatamento e na emissão de gases de efeito estufa. Desta forma, depois de 26 anos de experiência profissional e com trabalhos realizados em todos os estados brasileiros e em mais de 35 países, é com muita satisfação que escrevo o prefácio deste livro, que acredito poderá ser um belo instrumento de popularização do conhecimento técnico-científico e que poderá gerar uma enorme contribuição ao desenvolvimento territorial da Região Amazônica por meio da aquicultura.

Joao Felipe Nogueira Matias

Cientista Chefe da Aquicultura da FUNCAP/ CE

Professor do Curso de Piscicultura Comercial da EAJ/ UFRN

Diretor-Executivo da Empresa RAQUA/ Felipe Matias Consultores Associados LTDA.

## SUMÁRIO

**SEÇÃO B - ECONOMIA AQUÍCOLA: BASES PARA O DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E ECONÔMICO**

# SISTEMAS DE PRODUÇÃO: Tecnologias sustentáveis para aquicultura na Amazônia

# SEÇÃO A

# CAPÍTULO 1

# O ESTADO DA PISCICULTURA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Jackson Pantoja-Lima**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Presidente Figueiredo – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-6449-4981

**Maria Juliete Souza Rocha**
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/7439913071146294

**Liliane de Araújo Castro**
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/6836836498961979

**Aldessandro da Costa Amaral**
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-4663-4319

**Celso Scherer Filho**
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0001-9007-0421

**Romulo Veiga Paixão**
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-7242-7391

**Julmar da Costa Feijó**
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0001-8290-9741

**Hilacy de Souza Araújo**
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/0212636930645726

**Paulo Henrique Rocha Aride**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0001-9752-5003

**Adriano Teixeira de Oliveira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-4988-9878

**Bruno Olivetti de Mattos**
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas – Bahia
https://orcid.org/0000-0002-8341-8423

**RESUMO:** A piscicultura praticada na Região da Amazônia Brasileira apresenta grande potencial de criação de espécies nativas, principalmente o tambaqui, matrinxã e pirarucu. Espécies estas que aportam grande movimentação da cadeia produtiva aquícola nesta Região do País. Contudo, apesar de ser uma atividade que tem nos últimos anos um grande incentvo, disseminando e intensificando a prática da piscicultura, nos últimos anos o desenvolvimento da cadeia ainda esbarra em uma série de entraves, e para o sistema funcionar de maneira eficiente, são necessários investimentos e pesquisas nesse setor. Desse modo, o potencial produtivo da região se mostra atrativo, apesar de alguns entraves, o que não inviabiliza a atividade, fazendo com que esta seja promissora e ainda

pode promover melhor uso do meio ambiente. O capítulo irá tratar da atividade piscícola nesta importante Região do País.

**PALAVRAS-CHAVE**: aquicultura, peixes amazônicos, sistemas de produção, legislação aquícola.

## THE STATE OF FISH FARMING IN THE BRAZILIAN AMAZON

**ABSTRACT:** Fish farming practiced in the Brazilian Amazon Region has great potential for the creation of native species, especially tambaqui, matrinxã and pirarucu. These species contribute a great deal to the aquaculture production chain in this region of the country. However, despite being an activity that has had a great incentive in recent years, disseminating and intensifying the practice of fish farming, in recent years the development of the chain still comes up against a series of obstacles, and for the system to work efficiently, investments and research in this sector are necessary. In this way, the productive potential of the region is attractive, despite some obstacles, which does not make the activity unfeasible, making it promising and still promoting better use of the environment. The chapter will deal with fish activity in this important region of the country.

**KEYWORDS:** aquaculture, Amazonian fish, production systems, aquaculture legislation.

## 1 I A PISCICULTURA BRASILEIRA

Segundo a FAO (2020) o Brasil está entre os países que não tem reportado dados de pesca e aquicultura desde 2014, portanto as estimativas para o setor no país obtidas através de publicações e Organizações de Gerenciamento das pescarias regionais (RFMOs). Os dados disponíveis de piscicultura brasileira no programa FishStatJ da FAO, mostram a evolução da piscicultura brasileira com destaque para o crescimento da produção de tilápia e dos peixes nativos. Também foi possível ver a redução do espaço da produção de carpa comum no início dos anos 2008 (Figura 1)

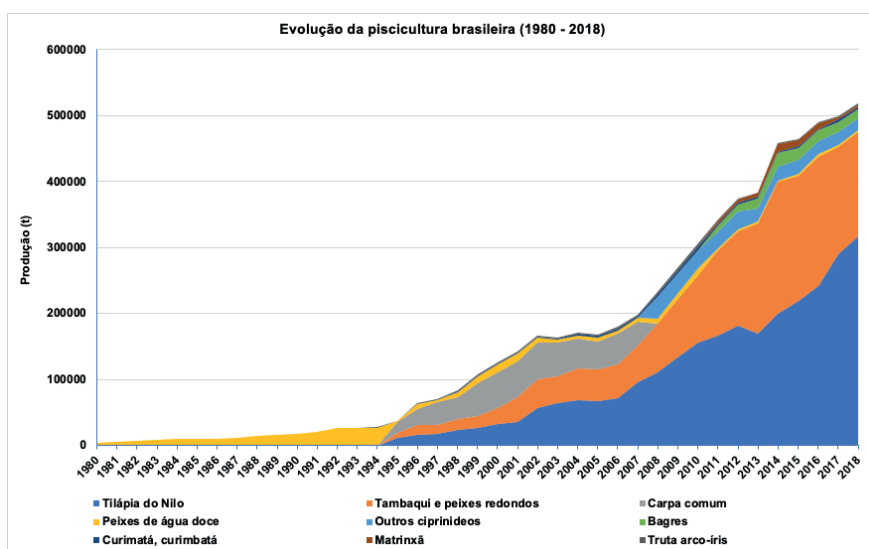



Figura 1. Evolução da piscicultura brasileira no período de 1980 a 2018, conforme dados do FishStatJ da FAO.

Entre as instituições que fazem esse gerenciamento de estimativas da piscicultura nacional destaca-se o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), órgão oficial para gerenciamento de dados estatísticos e a Associação Brasileira daPiscicultura (Peixe BR), uma instituição de direito privado que congrega as principais entidades do setor aquícola nacional.

Os dados do IBGE obtidos junto ao Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940) mostra que a piscicultura nacional teve um crescimento de 11% de 2014 para 2019, com uma produção estimada no ano de 2019 de pouco mais de 500.000 toneladas (IBGE 2020). Do outro lado, os dados da Peixe BR (2020), mostram uma tendência de crescimento da piscicultura brasileira da ordem de 31% no mesmo período, com uma produção de 758.006 toneladas (t) no último ano (Figura 2).

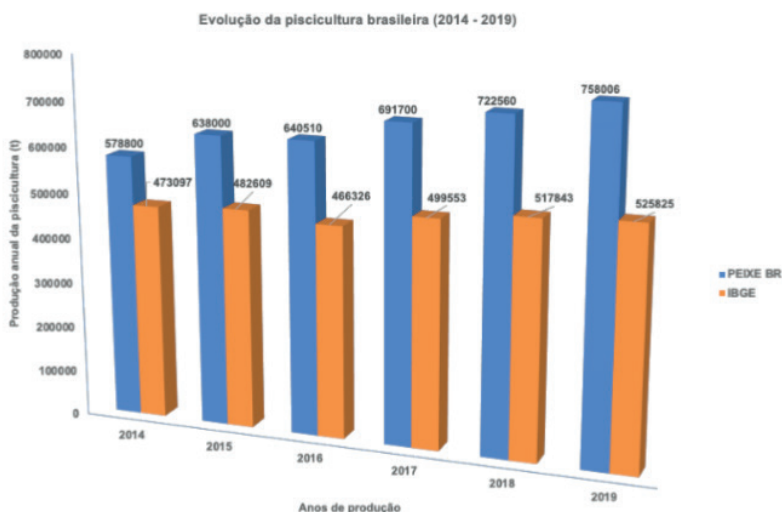



Figura 2. Evolução da Piscicultura Brasileira de 2014 a 2019, segundo dados do IBGE e Peixe BR.

A piscicultura nacional tem como principal espécie cultivada a tilápia que responde por 57% da produção nacional, seguida pelos peixes nativos que representam 38% da produção (PEIXE BR, 2020). Esse volume de produção de tilápia levou o Brasil à quarta posição mundial de produtores da espécie. Os principais estados produtores desta espécie estão localizados nas regiões sul e sudeste do Brasil, com destaque em ordem de produção para Paraná, São Paulo, Santa Catarina e Minas Gerais. Em 2019, o país exportou 5.322 t de tilápia, que em valores monetários correspondeu a US$ 9.750.193.

## 2 | PRODUÇÃO DE PEIXES NATIVOS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Entre as espécies nativas no Brasil destaca-se o tambaqui (*Colossoma macropomum*) como a principal espécie cultivada e os peixes redondos, que alcançaram a produção de 287.930 toneladas (PEIXE BR, 2020), incluindo os estados do centro-oeste brasileiro e

maranhão.

O tambaqui se destaca por apresentar bom desempenho zootécnico em cultivo, pela rusticidade, fácil aceitação de ração, assim como a disponibilidade de alevinos durante todo o ano (GOMES et al., 2013; VALLADÃO et al., 2016). Outro fator importante para a cadeia produtiva do tambaqui é a disponibilidade de pacote tecnológico de produção intensiva da espécie, o qual permite alcançar produção de até 18 toneladas/hectare em 10 meses de cultivo com o uso de aeradores, com peixes pesando aproximadamente 2,5 kg na despesca final; sendo esta produção considerada no mínimo três vezes superior à média do Estado do Amazonas (IZEL et al., 2013).

O Brasil é um país rico em recurso hídrico, extensão territorial e grande variedade de espécies. Contudo, esses recursos ainda não são totalmente aproveitados para a produção aquícola. Além disso, a indústria de pescados ainda é incipiente no país, mesmo diante de inúmeras oportunidades significativas para seu desenvolvimento, seja na pesca ou na aquicultura.

Em publicação recente do *Earth Inovation Institute*, coordenado por David McGrath e colaboradores afirmam que "*A expansão da piscicultura na Amazônia pode reduzir consideravelmente a pressão do desmatamento impulsionado pela pecuária, ao mesmo tempo que oferece aos consumidores regionais e nacionais uma fonte de proteína saudável, de baixa emissão de carbono e alta eficiência no uso da terra. A criação de peixes oferece aos bovinocultores e demais produtores rurais, assim como para agricultores familiares, uma forma de diversificação de renda e/ou garantia de segurança alimentar, utilizando até 30 vezes menos terra e emitindo apenas 3 a 5% do carbono da produção de uma quantidade equivalente de carne bovina. O pescado está profundamente enraizado nas tradições culinárias da Amazônia e é a forma de proteína animal mais comercializada globalmente, com a demanda crescendo mais rapidamente do que da carne bovina. A produção atual da piscicultura na Amazônia (8% da produção de carne bovina) já reduziu em 38.000 km2 a demanda por novos desmatamentos - e poderá reduzir ainda mais se as medidas adequadas forem tomadas agora"* (McGRATH et al. 2020). Isso demonstra que a atividade tem grande potencial de produção de alimento e também contribui para o desenvolvimento sustentável na região amazônica.

A Amazônia por sua abundância de recursos hídricos e territoriais, assim como a inexistência de limitações climáticas e do solo padrão ser de alto grau de compactação, é tida como ótimo local para o desenvolvimento da prática da atividade de piscicultura. Existem diversos tipos de sistemas de produção dentro da piscicultura, assim como diferentes espécies alvos, estruturas e técnicas de manejo, todos utilizados conforme a necessidade e características de produção adotadas (RODRIGUES et al. 2013; LIMA et al. 2019).

Nos cultivos em água doce, os sistemas mais utilizados são os viveiros escavados e tanques-rede, sendo o sistema semi-intensivo uns dos mais empregados na atividade de piscicultura na Amazônia (LIMA et al. 2019).

A região Norte apresenta uma produção de peixes nativos da ordem de 152.096 t em 2019, ou seja, uma leve redução 0,6% em relação ao ano de 2018 (Figura 3). O estado de Rondônialideraa produção de peixes nativos com 69.800 t, enquanto o estado

do Amazonas ocupou a quinta posição com apenas 20.596 t de peixes nativos (PEIXEBR, 2020). Em 2017 o estado chegou a produzir quase 100.000 t de peixes nativos, tendo o tambaqui como carro chefe. Segundo o IBGE (2020), o tambaqui lidera a produção em todos os estados da região norte, seguido pelos peixes redondos, matrinxã, o pacu e patinga, piau, piapara, pintado e seus híbridos.

Produção da piscicultura na região norte (2018 e 2019)

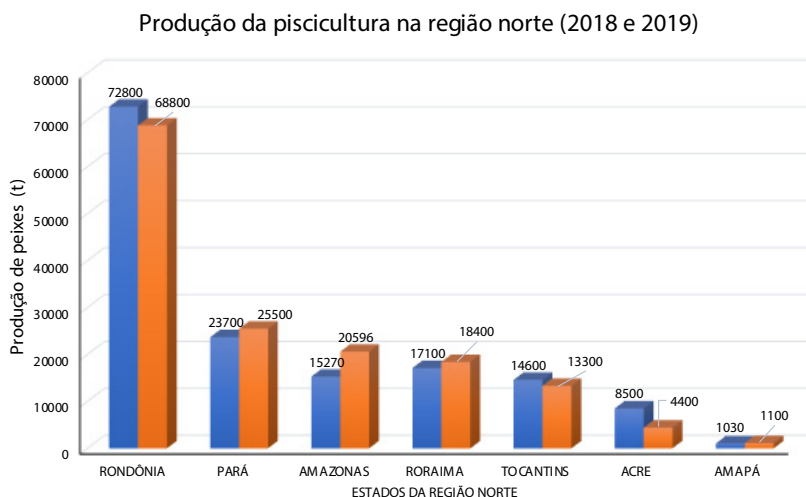



FIGURA 3. Produção da piscicultura nos estados da região Norte nos anos de 2018 e 2019. Fonte dados - Anuário Peixe BR (2020).

## 3 I SISTEMAS DE CRIAÇÃO DE PEIXES

A criação de peixe exige um planejamento minucioso independente do sistema de criação que será implantado. As características da propriedade irão determinar o porte físico do empreendimento, seus custos de instalações e manutenção. No entanto, antes da implantação de qualquer sistema de cultivo é necessário analisar: infraestrutura da propriedade, infraestrutura regional, legislação e o mercado. Estes fatores devem ser levados em consideração para que não haja entraves e problemas futuros, e se alcance o sucesso esperado de acordo com seus objetivos.

Um profissional deve avaliar detalhadamente a infraestrutura da propriedade, levando em consideração aspectos como: a topografia, o tipo de solo, a permeabilidade do solo, textura, fonte de água, energia elétrica e mão de obra; assim como, a infraestrutura regional, observando se existe fornecedores de insumos (ração, alevinos, adubos, etc.), se a estrutura viária permite o transporte da produção e dos produtos durante o ano todo e se existe assistência técnica.

A legislação também pode se tornar um entrave para o empreendimento, neste sentido, é importante conhecer as exigências legais, as etapas, os custos e o tempo necessário para obtenção da Outorga de Direito do Uso de Recursos Hídricos, do Licenciamento Ambiental, bem como do Registro e Licença de Aquicultor.

O estudo do mercado é essencial para a implantação de qualquer negócio, por isso, não é diferente para criação de peixes. É necessário informações do mercado, quais as espécies são comercializadas, peso e tamanho de venda e as formas de apresentação do produto. Além disso, deve-se conhecer o público consumidor, os fornecedores e a concorrência.

Antes de começar a elaboração do projeto para a construção do sistema de criação, deve-se definir em que segmento irá atuar (estratégia de produção), podendo voltar seu empreendimento para produção de alevinos ou juvenis ou na engorda, e de que forma será a comercialização: venda direta em peixarias, feiras livres, restaurantes, indústrias processadoras e etc. Também é momento de definir a(s) espécie (s) a ser(em) utilizada(s), o sistema de criação (extensivo, semi-intensivo, intensivo e superintensivo) e o tipo de criação (monocultivo, policultivo ou consórcio). Isso facilitará a escolha do sistema de produção que será utilização para criação de peixes e a elaboração de um projeto adequado de acordo com as necessidades.

## 4 I CRIAÇÃO EM VIVEIROS ESCAVADOS

O planejamento para a construção do viveiro escavado é um dos sistemas de criação mais complexos para a implementação das instalações, pois além das avaliações da infraestrutura da propriedade e infraestrutura regional, é necessário a elaboração de um projeto com layout eficaz e com baixo custo. Neste layout está intrínseco a disposição dos viveiros, distribuição dos sistemas de abastecimentos e dos sistemas de drenagem, caixa de gordura, e filtros biorremediadores. Estas instalações devem ser bem planejadas pois tem um alto custo durante a implantação do projeto.

A descrição de viveiro escavado é rústica aparentemente, sendo definido como um simples reservatório escavado em terreno natural, dotado de sistemas de abastecimento e de drenagem de água de tal modo que o permita encher ou secar no menor espaço de tempo possível. Contudo, existe um amplo planejamento para que o mesmo tenha condições de armazenar água, possibilite o cultivo de organismos aquáticos, e principalmente, para que funcione de forma eficaz.

A densidade de estocagem varia de acordo com a espécie, estágio de desenvolvimento e tamanho do peixe, qualidade e quantidade de água e capacidade de suporte do viveiro. Na piscicultura é comum a utilização dos termos cria, recria e terminação ou engorda para cada fase de desenvolvimento do peixe. Para cria (alevinagem) recomenda-se em média 100 larvas/m² de viveiro; para recria (Juvenis) recomenda-se até 5 juvenis/m² de viveiro e para Engorda, recomenda-se de 1 a 3 juvenis/m² em viveiros com renovação d'água, e de 3 a 6 juvenis em viveiros com renovação d'água e utilização de aerador (FARIA et al., 2013).

O uso de aeradores como inovação tecnológica tem sido indicado por vários autores para garantir a sobrevivência financeira dos cultivos de tambaqui na Amazônia (COSTA et al.2017; COSTA et al. 2020; IZEL et al., 2013; LIMA et al. 2020), assim como a implantação do programa de melhoramento genético dos planteis e a possibilidade de uso de populações monosexos (feminização) para se tornar a atividade mais atrativa (ALMEIDA et al., 2016; REIS e ALMEIDA, 2018).

## 5 I CRIAÇÃO DE PEIXE EM TANQUE REDE

Tanques-rede são estruturas flutuantes de várias formas e tamanhos utilizadas para o confinamento e criação de peixes, em açudes, reservatórios ou cursos d'água. Diversos materiais podem ser utilizados durante a confecção, desde que: permita a passagem do fluxo de água, dos dejetos dos peixes, seja leve e não cortantes, isto facilitará o manejo e apresentará resistência a mecânica e à corrosão (SANDOVAL JUNIOR et al., 2013).

Este tipo de sistema de criação pode ser instalado em ambientes aquáticos por meio de flutuadores, de preferência em locais onde há oscilação periódica no nível da água ou por meio de estacas fixas, em ambientes onde o nível d'água não oscila (TEIXEIRA, et al., 2019).

Têm como finalidade o confinamento de peixes, proporcionando-lhes condições de crescimento por meio da proteção constante ao ataque de predadores e competidores, fornecimento de alimento e água de boa qualidade. Além disso, o sistema também oferece facilidades no que se refere ao manejo diário e a despesca.

Existe certa controvérsia quanto ao emprego das palavras gaiola ou tanque-rede. Emprega-se o termo gaiola quando o material de contenção utilizado é rígido, quando é flexível, chama-se tanque-rede. O cultivo de peixes em tanques-rede é classificado como sendo do tipo intensivo, considerando o grau de tecnologia empregado, a alta densidade de peixes utilizada e o manejo alimentar, feito obrigatoriamente com ração balanceada e que atenda às necessidades nutricionais das espécies cultivadas.

Considerando a intensificação do cultivo, é fundamental verificar a capacidade de suporte do ambiente onde os tanques-rede serão instalados, assim como fazer o monitoramento constante da qualidade da água deste ambiente. O parâmetro qualidade da água está diretamente relacionado ao êxito do cultivo.

Este tipo de sistema tem diversas vantagens que podem ser levadas em consideração durante a escolha do tipo de sistema de criação de peixe, como: utilização de água já existente, sem implicar em desmatamento e movimentação de terra, evitando problemas de erosão e assoreamento de lagos e rios; aplicação de tanques-rede em águas onde a produção pesqueira é pequena ou onde a pesca é de difícil realização; sistema considerado semi-móvel, podendo ser deslocado facilmente para outros locais; manejo simplificado (amostragem, manutenção, controle de predadores, colheita, etc.; investimento financeiro inicial 70 % mais barato do que tanques escavados; produção de proteína animal de boa qualidade e incremento de emprego e renda, tanto artesanal como industrialmente; obtenção de um produto diferenciado, com baixa incidência de off flavor; possibilidade de produção durante o ano inteiro (TEIXEIRA et al., 2009; FARIA et al., 2013).

Apesar de apresentar muitas vantagens, este tipo de sistema ainda enfrenta algumas dificuldade durante sua implementação que devem ser levados em consideração, como: dificuldade na legalização do empreendimento; possibilidade de perda parcial ou total dos organismos cultivados em decorrência de fugas ou acidentes; total dependência de ração de boa qualidade, adequada às exigências nutricionais da(s) espécie(s) cultivada(s); impacto potencial ao meio ambiente, podendo alterar a qualidade da água, em decorrência do aporte de substâncias orgânicas e inorgânicas em quantidades superiores às assimiláveis pelo sistema, principalmente em ambientes fechados; Possibilidade de causar problemas

genéticos às populações silvestres, caso haja eventual fuga dos animais cultivados; Grande suscetibilidade a furtos, atos de vandalismo e curiosidade popular; heterogeneidade no tamanho dos peixes do mesmo lote, dentro do tanque rede (TEIXEIRA, et al., 2009; FARIA et al., 2013).

## 6 I PRODUÇÃO DE PEIXES EM CANAIS DE IGARAPÉ

O sistema de cultivo em igarapé se assemelha ao sistema do tipo "raceway", porém é feito no leito do igarapé utilizando a declividade e a vazão natural do corpo d'água. São dispostas telas plásticas ou metálicas a montante e a jusante, e as margens do igarapé são reforçadas e elevadas (ONO, 2005), criando um pequeno reservatório de água. Se comparado aos sistemas tradicionais de cultivo em viveiros, este sistema apresenta algumas vantagens, tais como: permitir maiores taxas de estocagem e maior produção de biomassa por unidade de volume; ocupar menor espaço; facilitar as operações de despesca, alimentação e observação dos peixes e propiciar menores custos de mão-de-obra no manejo do sistema (ARBELÁEZ-ROJAS et al., 2002).

Outro aspecto interessante é a qualidade do produto em termos de conteúdo de gordura e proteína. O aumento em peso corporal dos peixes avaliados por Abeláez-Rojas et al. (2002) foi devido ao crescimento da massa muscular, decorrente do esforço da natação, e não pelo incremento no conteúdo de água e/ou gordura corporal.

Do ponto de vista econômico, o sistema de cultivo intensivo em canais de igarapés apresenta-se mais atrativo para os investidores e com maiores taxas internas de retorno (RISSATO, 1995 apud ABELÁEZ-ROJAS et al., 2002).

Além das vantagens do manejo e da economia, esse sistema tem sido implantado, desde 2003, em pequenas propriedades rurais no estado do Amazonas, através do PROCIMA/INPA ("Programa de criação intensiva de matrinxã em canal de igarapés de terra firme: Aplicação em nível de subsistência e empresarial"), com o intuito de melhorar a qualidade da alimentação (piscicultura familiar) e, principalmente, como alternativa econômica, fixando o homem no campo e evitando a derrubada da floresta. Os resultados obtidos até o início dos anos 2000 revelava que o cultivo intensivo de matrinxã em canais de igarapés era uma alternativa promissora para a região, principalmente em pequenas propriedades (FIM et al., 2001; ARBELÁEZ-ROJAS et al., 2002). Contudo, no final de 2019 são escassos os cultivos nessa modalide de criação, especialmente devido a baixa oferta e elevado custo do juvenil de matrinxã.

Segundo estes autores, o sistema de criação requer mão-de-obra especializada e domínio da tecnologia de produção, principalmente por exigir estrito monitoramento da qualidade da água. Apesar das vantagens, a maior preocupação quanto a expansão deste sistema é a emissão dos efluentes que são carreados à jusante dos empreendimentos, o que pode prejudicar outros usuários do corpo d'água tais como outros criadores de peixes, balneários turísticos e consumo humano. Dentre as espécies exploradas na piscicultura, o matrinxã mostrou-se bem adaptado ao sistema de canais de igarapés (ARBELÁEZ-ROJAS et al., 2002). Entretanto, essa atividade enfrentou diversas críticas por parte dos órgãos ambientais durante sua fase de implantação. Recentemente, Santos et al. (2020)

demonstraram que criações em módulos de 100 $m^3$ nos canais dos igarapés não promovem impactos ambientais na qualidade de água e na ictiofauna nativa.

## 7 I LEGISLAÇÕES DE AQUICULTURA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

As legislações ambientais brasileiras visam dar condições de produtividade e segurança jurídica ao sistema aquícola, gerando emprego e renda, aliando a produção e sustentabilidade ambiental.

A principal resolução brasileira que aborda os licenciamentos de empreendimentos aquícolas é a Resolução CONAMA nº 413/2009. Essa norma trata do licenciamento ambiental da aquicultura, sendo uma derivação das legislações para o licenciamento ambiental, conforme definidas na Lei nº 6.938/81 – Lei da Política Nacional do Meio Ambiente – e na Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

Todavia, os estados passaram a ter suas próprias resoluções e instruções normativas, podendo realizar o controle dos empreendimentos aquícolas e seus respectivos licenciamentos, obedecendo os critérios da legislação estadual que funcionam também como derivações da Legislação Federal.

De modo geral, observa-se que é padrão na Amazônia o licenciamento simplificado de empreendimentos de piscicultura de pequeno porte (até 5 ha). Entretanto, alguns estados são mais beneficiados no momento da instalação dos empreendimentos, como é o caso de Rondônia e Roraima.

No caso de Rondônia, a legislação permite o uso de área de preservação permanente já degradadas para instalação dos viveiros e, consequentemente, grandes áreas são instaladas nessas planícies. Além disso, a região está próxima aos grandes fornecedores de insumos para ração, Rondônia e Mato Grosso.

No caso do Estado de Roraima, a geomorfologia do terreno contribui para instalação de grandes lagoas ou tanques de criação nos campos naturais, conhecidos como “lavrados”, onde aflora o lençol freático. A produção em larga escala é o principal aliado dessa atividade no estado, pois o estado também enfrenta entraves com a oferta de ração. Grande parte da ração consumida nas pisciculturas de Roraima tem origem no estado de Rondônia e, mesmo percorrendo longas distâncias até chegar no destino final, a piscicultura de Roraima ainda se mostra competitiva.

A despeito de ser o maior consumidor de pescado da piscicultura no Brasil, prioritariamente com o consumo de tambaqui, o Estado do Amazonas enfrenta diversas barreiras ambientais para implantação das pisciculturas de grande porte. Cerca de 95% dos piscicultores do Estado do Amazonas tem menos de 5 hectares e o maior tamanho das pisciculturas não ultrapassa os 50 hectares (LIMA et al. 2019). O pequeno porte dos piscicultores, a competição dos piscicultores do Amazonas como o pescado oriundo dos estados de Rondônia e Roraima, o preço elevado da ração, as restrições da legislação ambiental e a falta de regularização fundiária no Estado são alguns dos entraves a serem superados para alavancar a piscicultura no Amazonas.

A tabela 1 detalha as legislações relacionadas ao controle de empreendimentos aquícolas e os critérios de licenciamentos ambientais de cada estado da região Norte do

Brasil.

| Estado | **Legislação** | **Licenciamento** |
|---|---|---|
| Acre | Portaria Normativa Nº 5/2010<br>Lei Estadual Nº 1426/2001<br>Lei Estadual Nº 2156/2009 | Dispensa de licenciamento ambiental para empreendimentos de aquicultura de pequeno porte. Serão considerados nesta categoria aqueles que possuírem lâmina d'água inferior a 2 hectares. |
| Amapá | Lei Estadual Nº 898/2005<br>Lei Complementar Estadual Nº 91/2015 | O órgão ambiental competente poderá estabelecer procedimentos simplificados aos empreendimentos de pequeno potencial de impacto ambiental, conforme § 1º do art. 12 da Res. CONAMA 237/1997. |
| Amazonas | Lei Estadual Nº 4330/2016<br>Lei Estadual Nº 3785/2012 | Órgão ambiental competente autorizará a introdução de espécies exóticas, alóctones, híbridas e organismos geneticamente modificados para aquicultura (LEI SUSPENSA - MPF) |
| Pará | Instrução Normativa Nº 004/2013<br>Lei Estadual Nº 6713/2005 | A lei tem como objetivo estimular a aquicultura de espécies endêmicas e originárias da região amazônica; Os empreendimentos aquícolas no Estado devem providenciar o cadastramento e o licenciamento ambiental, sob a responsabilidade da Secretaria Executiva de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. |
| Rondônia | Lei Estadual Nº 3437/2014<br>Lei Estadual Nº 3941/2016 | Dispensa de licenciamento para sistema de baixo Impacto Ambiental: empreendimentos que utilizem até 5 hectares de lâmina d'água, tanques-rede ou tanques revestidos com volume de até 1.000 m³, com exploração de espécies nativas. |
| Roraima | Lei Estadual Nº 153/2009<br>Resolução CEMACT Nº 1/2014<br>Lei nº 1211, de 24 de novembro de 2017. | Declara a piscicultura em área de preservação permanente como relevante interesse público, permitindo o uso das áreas. |
| Tocantins | Lei Estadual Nº 2034/2009<br>Resolução COEMA Nº 07/2005<br>Lei Complementar Nº 124 DE 05/08/2019 | Os piscicultores de pequeno porte e baixo potencial de severidade das espécies com áreas de até 5 (cinco) hectares de lâmina d'água em tanque escavado, em barragens de acumulação de água da chuva com até 50 (cinquenta) hectares e tanques rede de até 10.000 (dez mil) metros cúbicos de água ficam dispensados de licenciamento ambiental e outorga. |

Tabela 1. Legislações aquícolas dos estados da região Norte do Brasil.

## 8 I CONSIDERAÇOES FINAIS

O ensaio acima mostra que a região amazônica tem um grande potencial para alavancar a produção de peixes nativos. Contudo, são inúmeros os desafios para ampliar a produção de peixes nativos e sua inserção no mercado nacional e internacional.

Intensificar estudos genéticos, melhoria das rações para as diferentes fases de vida dos peixes nativos, biorremediação nos viveiros, estabelecimento de protocolos seguros de uso de medicamentos, incentivos fiscais para uso de tecnologias que maximizem a produção e contribuam para redução do desmatamento, garantia de energia de qualidade nos ramais e viscinais, regularização fundiária, intensificação do adensamento da produção e uso de aeração, aumento de plantas de frigoríficos e inovações no beneficiamento dos

produtos da piscicultura de nativos, promoção do marketing do consumo de pescado e, consequentemente aumento do consumo per capita de pescado, são alguns dos desafios que o setor produtivo, o governo e a academia devem encarrar para fazer com o que setor se desenvolva com sustentabilidade ambiental, social e econômica.

## REFERÊNCIAS


ALMEIDA, F.L.; LOPES, J.S.; CRESCENCIO, R.; IZEL, A.C.U. ; CHAGAS, E.C. ; BOIJINK, C. . Early puberty of farmed tambaqui (*Colossoma macropomum*): Possible influence of male sexual maturation on harvest weight. **Aquaculture (Amsterdam)**, v. 452, p. 224-232, 2016.

ARBELÁEZ-ROJAS, G.A.; FRACALOSSI, D.M.; FIM, J.D.I. Composição corporal de tambaqui, *Colossoma macropomum*, e matrinxã, *Brycon cephalus*, em sistemas de cultivo Intensivo, em igarapé, e semi-intensivo, em viveiros. **Rev. Bras. de Zootecnia,** v.31, n.3, p.1059-1069, 2002.

COSTA, J.I. SILVA-GOMES, A.L.; SABBAG, O.J.; MARTINS, M.I.E. Economic evaluation of tambaqui "curumim" production in earth ponds in the Metropolitan Region Of Manaus-Brazil. **Revista Científica Rural**, v.19, n.2, p.174-183. 2017

COSTA, J.I. SILVA-GOMES, A.L.; SABBAG, O.J.; MARTINS, M.I.E. Scale efficiency in tambaqui farming in earth ponds in the Metropolitan Region of Manaus-AM. **Boletim do Instituto de Pesca**. v.46, n. 2: e584. DOI: 10.20950/1678-2305.2020.46.2.584 1

FARIA, R.H.S.; MORAIS, M.; SORANNA, M.R.G.S.; SALLUM, W.B. **Manual de criação de peixes em viveiros.** Brasilia: CODEVASF, 2013

FIM, J.D.I.; RANDAL, C.F.; STOTI-FILHO, A. 2001. **Cultivo intensivo e manejo de reprodutores de matrinxã, *Brycon cephalus*, em canal de igarapé.** Trabalho apresentado para concorrer ao prêmio FUCAPI/CNPq de Tecnologia, 7ª edição, Manaus, AM.

GOMES, L. C.; SIMÕES, L. N.; ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L.C. (Ed.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil.** 2.ed. Revista e Ampliada, Santa Maria: Ed. UFSM, 2013. p.175-204.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática – Acessado 10 de novembro de 2020. https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940.

IZEL, A.C.U.; CRESCÊNCIO, R.; O`SULLIVAN, F.F.L.A.; CHAGAS, E.C.; BOIJINK, C.L.; SILVA, J.I. Produção intensiva de tambaqui em tanques escavados com aeração. **Embrapa Amazônia Ocidental (Circular Técnica 39),** Manaus. 4 p. 2013.

LIMA, C.A.S.; MACHADO-BUSSONS, M.R.F.; OLIVEIRA, A.T.; ARIDE, P.H.R.; ALMEIDA O'SULLIVAN, F.L. PANTOJA-LIMA, J. Socioeconomic and profitability analysis of tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the state of Amazonas, Brazil, **Aquaculture Economics & Management,** 2020, DOI: https://doi.org/10.1080/13657305.2020.1765895

LIMA, C.A.S.; MACHADO-BUSSONS, M.R.F.; PANTOJA-LIMA, J. Sistemas de produção e grau de impacto ambiental das pisciculturas no estado do Amazonas, Brasil. **Revista Colombiana de Ciencia Animal - Recia**, v. 11, p. 1-14, 2019.

MCGRATH, D. G.; CASTELLO, L.; BRABO, M.; NEPSTAD, D.; GAMA, S.; FORSBERG, B.; MENDOZA, E.; ESTUPINAN, G.; RIBEIRO, A.; ALMEIDA, O. T.; BENTES, A. J.; CHAN, C. **POLICY BRIEF. CAN FISH DRIVE DEVELOPMENT OF THE AMAZON BIOECONOMY?** https://earthinnovation.org/wp-content/uploads/2014/09/EII_Fish-Development-of-Amazon-Brief.pdf, October 26, 2020.

ONO, E.A. Cultivar peixes na Amazônia: Possibilidade ou Utopia? **Panorama da Aqüicultura,** pp. 41-48, 2005.

PEIXEBR. **Anuário da PeixeBR da Piscicultura (2019).** Acessado em 21 de fevereiro de 2020. Link: http://www.peixebr.com.br, 136p, 2020.

REIS, V. R.; ALMEIDA, F. L. Effect of 17β-oestradiol on the sex ratio of tambaqui, *Colossoma macropomum*. **Aquaculture Research**, v. 50, n. 1, 154-161, 2018. https://doi.org/10.1111/are.13878

RODRIGUES, A. P. O.; LIMA, A. F.; ALVES, A. L.; ROSA, D. K.; TORATI, L. S.; SANTOS, V. R. V. dos (Ed.). **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos** – Brasília, DF : Embrapa, 2013. 440 p.

SANDOVAL JR. PAULO; TROMBETA, T.D.; MATTOS, B.O.; SALLUM, W.B.; SORANNA, M.R.G.S. **Manual de criação de peixes em tanques-rede**. 2. ed. – Brasília: Codevasf, 2013. 68 p.

SANTOS, S. M.; MENDONCA, F. P.; ZUANON, J. A. S.; Oliveira, A.T.; ARIDE, P. H. R.; PANTOJA-LIMA, J. Influência da piscicultura de pequena escala em canais de igarapés sobre as categorias tróficas da ictiofauna Amazônica. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais,** v. 11, p. 210-226, 2020.

VALLADÃO, G. M. R; GALLANI, S. U.; PILARSKI, F. South American fish for continental aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, p. 1-19, 2016.

TEIXEIRA, R.N.G.; CORRÊA, R.O.; FARIA, M.T.; MEYER, G. **Piscicultura em tanques-rede** / Embrapa Amazônia Oriental. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Coleção Criar, 6, 2009, 120 p.

# CAPÍTULO 2

# CRIAÇÃO COMERCIAL E COMUNITÁRIA DE QUELÔNIOS NO ESTADO DO AMAZONAS

*Data de aceite: 01/02/2021*

**Jânderson Rocha Garcez**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Tabatinga – Amazonas
lattes.cnpq.br/6529230698034427

**Anndson Brelaz de Oliveira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Maués – Amazonas
lattes.cnpq.br/9668639198640142

**Paulo César Machado Andrade**
Universidade Federal do Amazonas
Manaus – Amazonas
lattes.cnpq.br/0642010620400586

**João Alfredo da Mota Duarte**
Consultor Ambiental
Manaus – Amazonas
lattes.cnpq.br/7166726062344077

**RESUMO:** A criação de quelônios com finalidade comercial é permitida por meio da Instrução normativa IBAMA n° 07/2015. O tracajá (*Podocnemis unifilis*) e a tartaruga-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*) são espécies com potencial para exploração zootécnica. O Estado do Amazonas é o maior criador de quelônios do país, com cerca de 150.762 animais em cativeiro, mas é ainda uma atividade secundária na aquicultura. As principais instalações para criação são o berçário, tanque ou barragem de crescimento, tanque ou barragem para matrizes e praia artificial, todos cercados para evitar fugas e predadores. Animais devem ser alimentados com ração para peixes (32 a 45%PB) com opções de alimentos alternativos a partir do 2° ano. Reproduzem anualmente em cativeiro entre julho e setembro. Para os animais em cativeiro, principalmente os filhotes, é imprescindível um manejo e dietas adequadas para evitar doenças. O licenciamento ambiental é importante para regularizar a criação como fonte de renda e conservação das espécies. A quelonicultura pode contribuir para a diminuição da exploração sobre estes animais na natureza. A cadeia produtiva ainda carece de organização e estruturação comercial, de manejo alimentar e sanitário, e necessita de mais estudos que complementem os já existentes e recomendem práticas de manejo mais eficientes.

**PALAVRAS-CHAVE**: Aquicultura, quelônios, cativeiro e comercialização.

## COMMERCIAL AND COMMUNITY BREEDING OF CHELONIANS IN THE STATE OF AMAZONAS

**ABSTRACT:** The creation of turtles for commercial purposes is permitted through the normative instruction IBAMA n° 07/2015. Tracajá (*Podocnemis unifilis*) and Tartaruga-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*) are species with potential for zootechnical exploration. The State of Amazonas is the largest chelonian breeder in the country, with around 150,762 animals in captivity, but it is still a secondary activity in aquaculture. The main breeding facilities are the nursery, growth pond or dam, breeding pond or dam and artificial beach, all fenced to prevent escapes and predators. Animals should be fed fish food (32 to 45% CP) with alternative food options from the 2nd year. They breed annually in captivity between July and September. For animals in captivity, especially the hatchlings, it is essential to have adequate

management and diets to avoid diseases. Environmental licensing is important to regularize breeding as a source of income and conservation of species. Cheloniculture can contribute to the reduction of exploitation of these animals in the wild. The production chain still lacks organization and commercial structuring, food and health management, and needs more studies that complement existing ones and recommend more efficient management practices.
**KEYWORDS:** Aquaculture, chelonian, captivity and commercialization.

## 1 I INTRODUÇÃO

Os quelônios são importantes para as comunidades ribeirinhas, pois constituem fonte de proteína alternativa ao pescado para subsistência, sendo o consumo de sua carne e seus ovos parte da culinária amazônica (ANDRADE, 2017). Mas seu uso de forma predatória os levou à ameaça de extinção. Graças a projetos como o Programa Pé-de-pincha da UFAM, comunidades ribeirinhas têm ajudado na recuperação das populações de quelônios, atuando na cogestão do manejo comunitário conservacionista de ninhos e filhotes (ANDRADE, 2017; LIMA *et al*., 2017; BALESTRA *et al*., 2016).

Tartarugas de água doce também são um componente importante da aquicultura de muitos países asiáticos. Na China, por exemplo, a produção de tartaruga chinesa (*Pelodiscus*) para consumo humano, equivale a 0,6% de sua produção aquícola total de cultivos em água doce, cerca de 92 mil toneladas/ano. A importação de quelônios ou partes deles para consumo entre (1998 e 2004) foi de cerca de 320 toneladas/ano de carne (2.243.100 exemplares) e 76 toneladas de carapaças (ZHOU e JIANG, 2008). A criação de quelônios tem potencial para minimizar o impacto da demanda comercial para os produtos de tartaruga em populações selvagens.

No Brasil, existem 37 criadores comerciais de tartaruga da Amazônia (*Podocnemis expansa*) e tracajá (*P.unifilis*) registrados pelo IBAMA, e respectivamente, com um plantel de 193.283 tartarugas e 18.224 tracajás em cativeiro (Trajano e Carneiro, 2019).

Mesmo com o sistema oficial de proteção do Governo feito pelos órgãos ambientais, na Amazônia, os quelônios têm sido, e continuam a ser, uma das principais fontes de proteína para população nativa, sendo que a *Podocnemis expansa*, pelo seu tamanho, quantidade de ovos e qualidade da carne sempre foi a espécie mais explorada (CORREA, 1978; FACHÍN-TERÁN, NASCIMENTO, 2009; PEREIRA *et al.*, 2011). Mais de 90% dos criatórios legalizados de animais silvestres (sistemas de manejo intensivo *ex situ*) no Amazonas são de *Podocnemis expansa* (ANDRADE, 2008; ANÍZIO, 2009). Esta preferência alimentar por quelônios pode ser constatado nas feiras, mercados e restaurantes da região, como sendo o animal silvestre mais comercializado ilegalmente (WETTERBERG et al., 1976; CANTO *et al*. 1999; OHANA, 2009; NASCIMENTO, 2009).

Nascimento (2009) estimou, com base nos dados de apreensão dos órgãos ambientais (IBAMA, SEMA, Polícias Ambientais, ICMBio) que entre 1992 e 2011, tenham sido apreendidos 86949 quelônios (13289 *P.expansa*; 3933 *P.unifilis*; 19279 *P.sextuberculata*, 474 *P.erythrocephala*, 49583 *Podocnemis sp*., 184 *Peltocephalus dumerilianus*, 195 *Chelonoidis sp*., e 9 *Chelus fimbriatus*) e 42941 ovos só no Amazonas. Com uma média anual de apreensões de 4347 quelônios/ano e 2147 ovos/ano, entre 1992-2011. Entre 2012 e 2019, foram apreendidos 11894 quelônios (29% *P.expansa*, 27% *P.unifilis*, 7%

*P.sextuberculata*, 5% *P.erythrocephala*, 1% *P.dumerilianus* e 31% *Podocnemis sp.*) e 16090 ovos (Charity e Ferreira, 2020).

Em levantamentos realizados em áreas de manejo comunitário no Médio Amazonas, as espécies mais consumidas foram tracajás (55%), jabutis (21%) e cabeçudos (10%), sendo que 47,7% dos comunitários afirmaram que esses animais continuavam a serem comercializados, ao preço médio de R$20,2/tracajá e R$83,5/tartaruga (ANDRADE *et al,* 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2006). No rio Juruá, a situação mostrou-se mais grave com a captura ilegal de quelônios ocorrendo mesmo dentro de unidades de conservação federais. Na Reserva Extrativista (RESEX) do Baixo Juruá, cerca de 63,6% dos comunitários afirmaram haver captura e comércio ilegal de quelônios, e na RESEX Médio Juruá, 100% confirmaram essa prática (47% vendidos na cidade, 35% na própria comunidade e 8% para os regatões).

## 2 | A CRIAÇÃO COMERCIAL DE QUELÔNIOS NO AMAZONAS

O Amazonas é o estado brasileiro com maior número de criadores de quelônios registrados pelo IBAMA, com um total atualmente de 29 criadores legalizados (já chegou a ter 85 registros até 2011- Andrade, 2015), o que representa 80% de todos criatórios comerciais de *P.expansa* no Brasil. Tem um plantel de 150.762 quelônios, ocupando o 1º lugar em número de animais silvestres em criação comercial em todo Brasil, produzindo cerca de 8.553 filhotes/ano (Trajano e Carneiro, 2019). As *P. expansa* representam o 3º organismo aquático mais criado no estado, ficando atrás apenas do tambaqui (*Colossoma macropomum*) e do matrinxã (*Brycon amazonicus*), sendo comercializados cerca de 3 ton./mês de quelônios legalizados na cidade de Manaus (12-15 ton/ano e mais de 3.000 animais/ano). Ao contrário de outros estados, os criadores amazonenses conseguiram vender todos seus lotes de animais, com peso médio de 4,9±1,9 kg e preço atual variando de R$ 20 a 30,00/kg vivo (cerca de R$40-60,00/kg de carne), e dezessete (17) deles já conseguiram a reprodução em cativeiro, desde 2002, produzindo, até 2009, 14.695 filhotes de *P. expansa* e 4.851 filhotes de *P. unifilis* (GARCEZ, 2009).

O grande avanço da quelonicultura no Amazonas parece estar relacionado a alguns fatores como: 1) A grande demanda do mercado local para consumo da carne de quelônios (tartarugas, tracajás e iaçás); 2) O grande interesse dos produtores para se regularizarem como criadores legalizados (mais de 198 processos em análise até 2009); 3) Ao incentivo e suporte técnico-científico (extensão e pesquisa) proporcionado pelo IBAMA-AM fruto de um acordo de cooperação técnica com a Universidade Federal do Amazonas. Entre 1996 e 2004, através de projeto conjunto do IBAMA-AM e UFAM (PTU/CNPq – Diagnóstico da Criação de Animais Silvestres no Amazonas), foram acompanhados todos os criadouros de quelônios do Amazonas, através de visitas técnicas bimestrais, nas quais eram realizadas biometria e pesagens dos animais, analisada a alimentação fornecida e recolhida informações sobre o manejo adotado e os gastos com o custeio da atividade. Nestas visitas os criadores, técnicos do IBAMA e da UFAM trocavam informações e com isso podiam melhorar a produtividade de suas criações.

Deste diagnóstico das criações de quelônios no Amazonas e dos experimentos sobre nutrição e manejo de quelônios realizados pela UFAM e EMBRAPA-AM foi possível sistematizar um roteiro mínimo sobre criação de quelônios no estado, definindo: tipos de

instalações e densidades de cultivo; rações experimentais e níveis nutricionais (proteína, energia, Ca e P) para tartarugas, tracajás e iaçás; manejo alimentar; evolução do plantel; custos de produção; aspectos de sanidade, fisiologia/bioquímica, parasitologia e reprodução dos animais em cativeiro. Essas informações foram repassadas aos criadores de quelônios, técnicos e pesquisadores ligados ao setor em seminário realizado em 2004, em Manaus, e através da publicação do livro "Criação e Manejo de Quelônios no Amazonas", em 2008, pelo Provárzea/IBAMA (ANDRADE, 2008). A partir deste seminário, os quelonicultores do Amazonas passaram a receber apoio da Agência de Agronegócios do Amazonas para expor seus produtos em feiras móveis junto com pescado proveniente de cultivo ou de áreas de manejo do pirarucu (*Arapaima gigas*), o que ajudou a divulgar e popularizar a venda e o consumo de quelônios de cativeiro, ajudando no marketing deste produto.

Além de todo incentivo e do trabalho de extensão e apoio técnico recebido pelos quelonicultores do Amazonas, estes reuniam algumas características que, possivelmente, podem ter favorecido o sucesso de seus empreendimentos:

a) Proximidade do grande centro consumidor: A maioria dos criatórios ficava na região da metrópole Manaus e municípios do entorno: Manacapuru, Iranduba, Rio Preto da Eva e Itacoatiara (90,3%) (ANÍZIO, 2009).

b) Pequenas e médias propriedades com instalações simples que buscavam diversificar sua produção: O tamanho das propriedades variou de 8 a mais de 6.000 ha, sendo a maioria entre 9–35 ha (50%), com média de 22±18,4 ha. As represas variaram de 0,1 a 6,0 ha, embora a maioria estivesse entre 1 e 2 ha, e os berçários de 30 a mais de 1.000 m2. A maioria dos empreendimentos aproveitaram as barragens e tanques já construídos para atividade de piscicultura (ANDRADE, 2008).

c) Perfil socioeconômico do criador: A maioria dos criadores exerciam outras atividades, sendo a quelonicultura uma atividade complementar. Em sua maioria eram comerciantes (33%) ou agricultores/produtores rurais (25%), com idade entre 40-59 anos (66,3%), renda familiar na faixa de 5 a 10 salários-mínimos (41,7%) e nível de escolaridade entre ensino fundamental e médio (58,3%). Além disso, a maioria dos criadores detinham conhecimentos empíricos sobre características biológicas das tartarugas, como sua alimentação, reprodução e hábitos na natureza (LIMA, 2000).

d) Pequenas e médias criações, em sistemas extensivos ou semi-intensivos e que buscaram baratear os custos de produção: A maioria dos criatórios eram de pessoas físicas (61,5%) e que usaram recursos próprios para investir, não se endividando com empréstimos em agências de fomento. Adotaram sistemas de criação do tipo semi-intensivo ou extensivo (69%) consorciado com peixes como tambaqui, com lotes de 1.000 a 5.000 indivíduos (60%) – o que hoje é considerado um número pequeno para a atividade comercial e para criar capital de giro. Forneceram como alimento, subprodutos encontrados na região como vísceras bovinas (20%), resíduos de filetagem de pescado (40%), restos de feira, frutas e tubérculos (20%), sendo que apenas 20% forneciam ração comercial peletizada para peixe tipo alevinagem com 36 a 42% proteína (20%), reduzindo dessa forma, os custos com alimentação (ANDRADE, 2008; ANÍZIO, 2009).

Na avaliação dos custos da quelonicultura, Lima (2000), observou que na maioria dos criadores não havia registros sistematizados dos gastos e receitas da criação nas

propriedades. Os dados foram estimados com base em informações provenientes de anotações e de estimativas. A participação dos custos fixos sobre os custos totais é de 25,4% e os custos variáveis participam com 74,6 %. Os custos com alimentação foram os maiores e representaram 52,5% dos custos. O gasto com ração (alimentação/ano/animal) ficou em torno de R$1,53-1,58/animal/ano, referente à alimentação (LIMA, 2000; ANDRADE, 2008).

Na Tabela 1 são mostrados os custos fixos e variáveis estimados para produção de tartarugas. O custo total de produção por quilo de animal foi estimado em R$ 2,93/kg. Em 2009, Anízio (2009) analisou os registros reais de custos de produção entre 2003 a 2008 (tabela 2), estimando o custo total de produção por quilo de tartaruga em R$1,16, sendo que cada animal vivo era comercializado à época por R$12-14,00/kg. A lucratividade estimada foi de 158%.

Quando comparamos os custos de produção dos quelonicultores do Amazonas com o preço dos animais oriundos do tráfico em diversas partes do estado, verificamos que, estes custos foram, em média, menores que os preços praticados pela venda ilegal. Segundo Andrade (2008), as espécies de quelônios mais comercializadas clandestinamente no Amazonas eram, entre 1999-2008, o tracajá R$25-30,00/unidade (R$6,00/kg), a tartaruga R$200,00-300,00/unidade (R$4,00/kg), o iaçá R$5-6,00/unidade (R$3,00/kg), e o jabuti R$10,9±5,3/unid. (R$3-4,00/kg). Muitos regatões na margem do rio Juruá transportavam os quelônios para comercializar nas cidades de Carauari, Juruá, Fonte Boa, Tefé, Manacapuru e Manaus-AM (ANDRADE e NASCIMENTO, 2005; ANDRADE *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Em unidades de conservação estaduais (entorno da Rodovia BR-319), também pudemos identificar a mesma situação de comércio/tráfico de quelônios nas áreas de conservação do Médio rio Purus e rio Madeira. Nas RESEX e Floresta Canutama e na Floresta Tapauá, 80% dos comunitários afirmaram ocorrer captura e comercialização ilegal de quelônios dentro das reservas (42-50% vendidos na própria comunidade, 25-55,6% para cidades próximas e 13-33% para regatões). A tartaruga era vendida por R$122-200,00/unidade, o tracajá a R$57-63,00/unid., o iaçá por R$ 15,4- 20,9/unidade e o cabeçudo por R$29,7 (ANDRADE et al., 2015).

| ITENS | CUSTOS FIXOS | | CUSTOS VARIÁVEIS | | % PARTICIPAÇÃO NOS CUSTOS TOTAIS |
|---|---|---|---|---|---|
| | (R$) | (%) | (R$) | (%) | (%) |
| Depreciação | 16.021,50 | 34,35 | - | - | 8,72 |
| Rem. Capital | 19.050,90 | 40,84 | - | - | 10,35 |
| Mão de obra | 11.575,00 | 24,81 | - | - | 6,3 |
| Alimentação | - | - | 96.047,20 | 70,05 | 52,5 |
| Mão de obra | - | - | 7.871,50 | 5,74 | 4,48 |
| Combustível | - | - | 10.644,00 | 7,76 | 5,8 |
| Manutenção | - | - | 14.773,20 | 10,77 | 8,4 |
| Transporte | - | - | 5.970,00 | 4,35 | 3,35 |

| Outros | - | - | 1.817,20 | 1,33 | 0,1 |
|---|---|---|---|---|---|
| Total | 46.647,40 | 100 | 137.123 | 100 | 100 |
| % de participação no custo total | 25,38 | - | 74,62 | - | 100 |
| Custo médio | 0,74 | - | 2,19 | - | 2,93 |

Tabela 1: Custos totais, médios e participação percentual da criação de quelônios no estado do Amazonas, no ano de 1999 (Lima, 2000).

| Itens | Custos Fixos | | Custos Variáveis | | % participação nos custos totais |
|---|---|---|---|---|---|
| | R$ | % | R$ | % | |
| Instalações, equipamentos e veículos (depreciação) | 23.372 | 43,4 | | | 8,6 |
| Remuneração de capital | 13.367 | 24,8 | | | 4,9 |
| Mão de obra fixa | 17.100 | 31,8 | | | 6,3 |
| Alimentação | | | 133.100 | 61,1 | 49 |
| Combustível | | | 28.514 | 13,9 | 10,5 |
| Mão de obra | | | 28.000 | 12,8 | 10,3 |
| Outros | | | 28.200 | 12,9 | 10,4 |
| TOTAL | 53.839 | 100 | 217.814 | 100 | 271.653/100 |
| % Participação | 19,81 | | 80,18 | | |
| Custo Médio/animal (31.236 tartarugas) | 1,72 | | 6,97 | | 8,69 |
| Custo Médio/kg (234.299,9 kg) | 0,23 | | 0,92 | | 1,16 |

Tabela 2: Custos médios anuais de uma criação de quelônios com 6 hectares de área alagada e animais comercializados entre 6,5 e 9 kg. Fonte: Anízio (2009)

Estes estudos mostraram que o preço médio do quilo da tartaruga vendida clandestinamente no Amazonas girava em torno de R$4.00-8,00/kg, dependendo da época do ano (mais barato na seca, durante o período de reprodução dos quelônios). Os quelonicultores do Amazonas tem um preço médio de R$20,00-30,00/kg de tartaruga (peso vivo), com o custo médio de produção estimado entre R$2,00-3,00/kg, ou seja, isso representa uma margem de lucro bruta que varia de 582,6% a 624,1%. Isto demonstra que, seria possível, aos quelonicultores concorrerem com preços menores com o mercado clandestino de quelônios, caso optassem por reduzirem suas margens de lucro. Contudo, isso não ocorre, pois a demanda por quelônios legalizados é elevada e a oferta de quelônios de criadores ainda é relativamente reduzida, o que garante que os preços deste produto se mantenham levados.

A UFAM tem acompanhado a venda dos quelônios destes criadores desde 1998. As análises dos dados de comercialização foram obtidas através de acompanhamento da despesca nos criatórios com biometria, pesagem e aplicação do lacre de venda nos animais; monitoramento da venda em feiras, supermercados e restaurantes de Manaus; tabulação

dos recibos de venda ao consumidor e notas fiscais fornecidas pelos proprietários e através dos relatórios anuais entregues pelo criadouro ao IBAMA. As informações da tabela 3 sobre comercialização de quelônios legalizados foram compiladas por Garcez (2009).

| Propriedade | Totais vendidos | Peso médio (kg) | Produção (kg) | Receita Bruta (R$)* |
|---|---|---|---|---|
| Agropecuária PEC Ltda. | 500 | 4,00 ± 2,30 | 2.000,00 | 24.000,00 |
| Chácara Flora | 9.406 | 3,42 ± 2,65 | 32.168,52 | 386.022,24 |
| Fazenda Ana Nárda | 1.660 | 4,71 ± 0,89 | 7.818,60 | 93.823,20 |
| Fazenda Coco Laca | 20 | 4,00 | 80,00 | 960,00 |
| Fazenda Córrego Azul | 387 | 4,38 ±1,91 | 1.695,06 | 20.340,72 |
| Fazenda Joel Filho | 700 | 6,75 ± 1,94 | 4.725,00 | 56.700,00 |
| Fazenda São Francisco | 1.329 | 8,23 ± 5,59 | 10.937,67 | 131.252,04 |
| Faz.São Francisco (Maria) | 640 | 2,98 ± 1,41 | 1.907,20 | 22.886,40 |
| M. Kohashi | 1.000 | 8,00 ± 0,62 | 8.000,00 | 96.000,00 |
| Nossa Senhora Aparecida | 6.244 | 6,18 ± 1,85 | 38.587,92 | 46.3055,04 |
| Sítio Karina | 961 | 5,75 ±1,62 | 5.525,75 | 66.309,00 |
| Sítio União Bastos | 3.180 | 4,08 ± 1,70 | 12.974,40 | 155.692,80 |
| Tambaqui Piscicultura Ltda. | 200 | 1,93 ± 0,33 | 386,00 | 4.632,00 |
| **Total** | **26.227** | **4,95 ± 1,83** | **126.806,12** | **1.521.673,44*** |

Tabela 3: Quantidade, peso médio e produção das tartarugas vivas vendidas no período entre 1998 e 2008. Fonte: Garcez (2009).

*Preço médio praticado pelos criadores entre 1998-2008 foi de R$12,00/kg.

Foram analisados 13 criadouros com venda de tartarugas vivas, totalizando 26.277 animais comercializados até 2008, com peso médio de 4,95 ± 1,83 kg (figura 4). Destes animais, 12.800 animais foram vendidos como plantel para novos criadouros, já que o IBAMA não distribuiu mais filhotes como determina a Instrução Normativa para criação desde 2004. A compra de animais de outros criadores mais antigos, permitiu que os novos criadores iniciassem sua criação com animais legalizados oriundos de outros criadouros. Os maiores animais comercializados foram encontrados na Fazenda São Francisco em Manacapuru/AM, com 8,23 ± 5,59 kg em média, os menores animais foram encontrados com 1,93 ± 0,33 kg em média na Tambaqui Piscicultura Ltda. em Manaus/AM. Nos criadouros que tem fornecido aos animais alimentação com maior teor de proteína animal (peixe e sobras de frigorífico e abatedouros), foram mais pesados do que os criados com proteína vegetal (verduras, frutos e ração a base de soja e milho).

**Animais vivos comercializados anualmente**

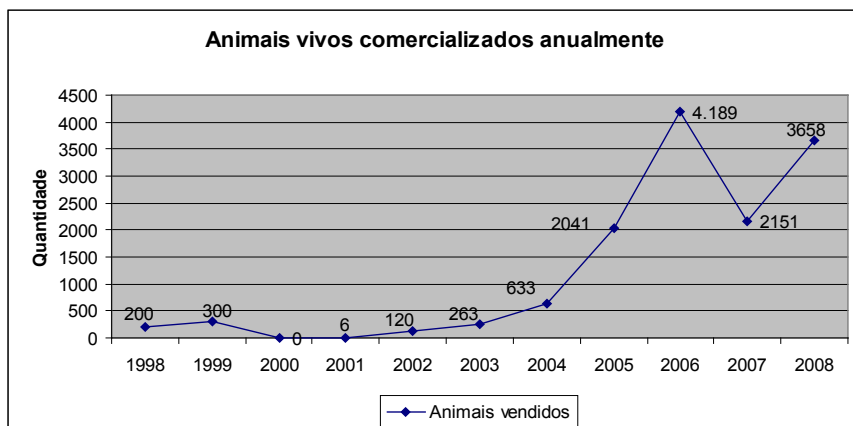



Figura 1: Animais comercializados entre os anos de 1998 e 2008 em treze criadores no Amazonas. Fonte: Garcez (2009).

As primeiras tartarugas legalizadas vivas foram vendidas nos anos 1998 e 1999 através da Agropecuária PEC Ltda em Manaus. Houve aumento na venda e demanda de tartarugas vivas de criadores legalizados entre 2001 e 2006 (Figura 4), mas a oferta ainda é baixa por falta de incentivos e ainda não consegue atender o mercado e, seus preços, ainda são superiores ao dos animais do tráfico. Em 2007, houve uma diminuição significativa na venda de quelônios legalizados em função de problemas burocráticos para liberação dos lacres, pois a burocracia para liberação de lacres. A falta de doações de filhotes desde 2004 no Amazonas, também contribuiu para uma queda na produção, visto que, os criadores conseguiram vender seus animais de maior peso (engorda e crescimento), mas não conseguiram repor seus plantéis de cria e recria, criando um delay no sistema de produção, até que começassem a produzir filhotes de quelônios em suas propriedades. Com a reprodução de quelônios em cativeiro, a partir de 2002, mas mais fortemente, a partir de 2004-2005, ocorreu a reposição dos plantéis de cria e recria, propiciando o aumento novamente na quantidade de animais em cultivo, e com isso, a partir de 2008, um aumento nas vendas dos animais (Figura 1).

A situação do fornecimento dos lotes iniciais de filhotes aos criadores, parece ser um ponto crítico no processo de criação mas, que poderia ser facilmente solucionado se os 17 criadores do Amazonas que vêm produzindo filhotes, pudessem vendê-los para os novos criadores registrados. Contudo, a atual legislação (IN IBAMA No.07/2015, Anexo III) trata apenas da venda de animais consumo, ou seja, as tartarugas devem-se possuir um peso mínimo de 1,5 kg para serem vendidas, o que inviabilizaria a venda dos filhotes. O IBAMA-AM realizou uma consulta formal a Coordenação Geral de Conhecimentos dos Recursos Faunísticos e Pesqueiros (COCFP/IBAMA) sobre a possibilidade de criatórios legalizados de quelônios venderem filhotes aos novos criadores registrados. A resposta através do Memo. COCFP/IBAMA No.3637/2013 afirma que os filhotes só poderiam ser vendidos para formar novos plantéis de matrizes e reprodutores e de que todos deveriam possuir marcação definitiva mesmo sendo filhotes. Acreditamos que, essa questão deveria ser mais claramente explicitada no próprio anexo III da IN No.07/2015, além do que, deveria prever

também a situação de repasse de filhotes entre criadores não só para formar matrizes e reprodutores mas, também, para recria, crescimento, engorda e venda, como acontecem em outras criações zootécnicas.

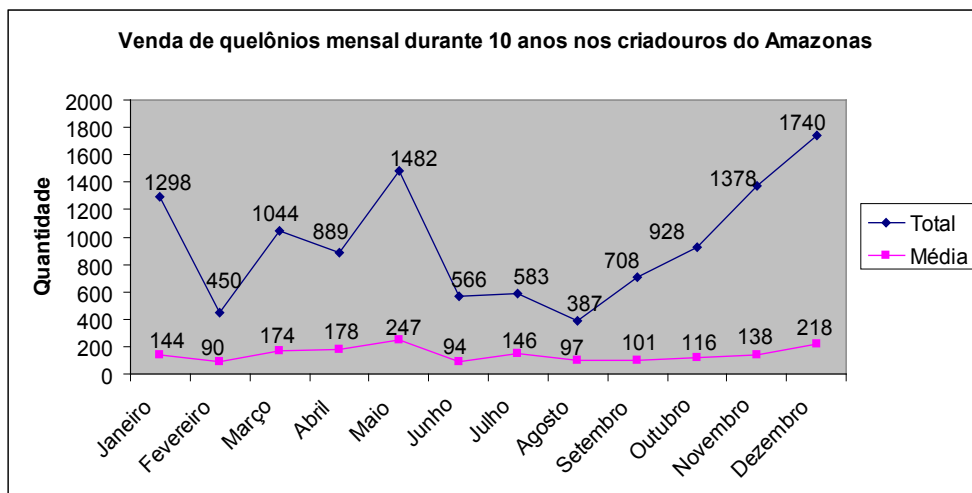
Durante os 10 anos analisados de comercialização de tartarugas *Podocnemis expansa* no Amazonas, os meses de dezembro e maio apresentam maiores quantidade de animais vendidos devido serem meses festivos como Natal, fim de ano e dia das Mães, período de maior consumo. A venda mensal de quelônios é proporcional ao nível dos rios Amazônicos, pois em agosto e setembro, os rios estão na vazante máxima, ocorrendo maior tráfico ilegal de animais oriundos da natureza (NASCIMENTO, 2009) e concorrência aos animais legalizados. Durante a enchente, ocorrem menos animais de tráfico (entressafra), ocasião em que os criatórios legalizados aumentam as vendas de suas tartarugas regularizadas (Figura 2).



Figura 2: Quantidade total e média de animais vendidos mensalmente em 10 (dez) anos de comercialização no estado do Amazonas. Fonte: Garcez, 2009.

Entre os principais entraves e possíveis soluções encontradas por quem quer criar quelônios no Estado do Amazonas (ANDRADE, 2008) podemos destacar:

**1) Necessidade de formar mais técnicos especializados na criação de quelônios:** A UFAM criou em 2004 um curso de graduação em Zootecnia voltado para os animais silvestres, e desde então, vem formando profissionais especializados na criação de quelônios. Além disso capacitou mais 219 agentes ambientais voluntários e 148 gestores ambientais em técnicas de conservação e manejo de quelônios e 5.798 técnicos extensionistas, produtores rurais e comunitários em cursos de criação comunitária de quelônios.

**2) Indefinição entre os órgãos estaduais sobre a quem caberia atender o criador de animais silvestres** (Secretaria de Produção Rural/SEPROR ou Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas/IPAAM- Secretaria Estadual de Meio Ambiente): O Governo do Estado criou, inicialmente na SEMA e depois na SEPROR, um departamento de animais silvestres para tratar das questões relativas

aos jacarés e abelhas nativas. Em 2011, quando o Governo Federal repassou, para os Estados a responsabilidade sobre a gestão da fauna silvestre local, através do Artigo 8º. da Lei Complementar Nº140, o IPAAM criou a Gerência de Fauna que atualmente é responsável pelo registro de novos criadores de quelônios no Estado. Reforçando a importância, para o Amazonas, do monitoramento das atividades comunitárias de conservação da fauna, a SEMA criou também um Grupo de Trabalho de Quelônios (Portaria SDS Nº 128, de 5/8/2011) que teve como meta formular as diretrizes para conservação de quelônios no Amazonas, o que incluiu definir as áreas prioritárias de proteção e monitoramento, bem como, incentivar sistemas participativos de manejo comunitário de quelônios; discutir a normatização de criatórios comunitários de quelônios; e definir e regulamentar normas de abate de quelônios no estado (Amazonas, 2014). Em 2017, através das Resoluções CEMAAM N.25 e 26 de agosto de 2017, o Amazonas reconheceu as áreas prioritárias para conservação e manejo de quelônios no Estado e definiu as normas para criação comunitária de quelônios, respectivamente.

3) **Definição da metodologia de abate** pelo Ministério da Agricultura, a fim de que os produtores possam comercializar em grande escala (existem mais de 100.000 animais prontos para venda): O Setor do MAPA responsável pela regulamentação das normas de abate de quelônios é o Serviço de Inspeção de Produtos de Origem Animal (SIPA), a nível federal, e a nível estadual a Comissão Executiva de Defesa Animal e Vegetal do Amazonas (CODESAV). O Centro de Conservação e manejo de répteis e anfíbios (RAN) do ICMBio já possui uma série de estudos sobre a linha de abate e processamento de carne de quelônios, falta apenas que o MAPA aceite os estudos e aprove uma normatização de inspeção. Desde 2017, pelo novo RISPOA, quelônios e crocodilianos podem ser tratados e beneficiados como pescado (Artigo 205 do Decreto No.9.013, 30/03/2017, regulamenta a Lei No.1283 de 18/12/1950 e a Lei N.7.889 de 23/11/1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal). No Acre, já está sendo analisado pelo MAPA, uma planta-base do que seria o primeiro abatedouro de quelônios com inspeção federal (SIF).

**4) Organização da comercialização e propaganda:** A Agência de Agronegócios do Amazonas (Agroamazon) conseguiu organizar feiras para divulgar a venda de quelônios de criatórios legalizados, junto com outros produtos da cadeia produtiva de pescado do estado. Esse apoio logístico e de marketing impulsionou a venda de quelônios legalizados e entre dezembro de 2005 a maio de 2006 foram vendidas 30 toneladas de quelônios de cativeiro.

**5) Necessidade imediata do IBAMA e do IPAAM tornarem mais ágil e eficiente as atividades que envolvem desde o registro do criador até a comercialização** (faltam mais técnicos e recursos para a realização de todas as vistorias, pedidos ficam parados): Além da contratação e treinamento de mais técnicos para integrar os núcleos ou gerências de fauna, se realmente existir o interesse em incentivar o manejo ex-situ, deverá haver uma maior aplicação de recursos (no caso dos quelônios, talvez até com uma parceria com a Secretaria Especial de Pesca). O anexo III da IN No.07/2015 deveria ser discutido pelos especialistas em quelônios no âmbito do Plano de Ação Nacional de conservação de quelônios amazônicos, a fim de solucionar questões como o reconhecimento de sistemas comunitários de criação e manejo (redução de aspectos burocráticos como a propriedade da

terra e a comprovação de renda que impossibilitam o registro de comunidades que protegem os quelônios como possíveis criadores comerciais) ou a questão da venda de filhotes entre criadores para recria e engorda. Apenas no caso do Amazonas, já existe a normatização estadual para criação comunitária de quelônios.

## 3 | A CRIAÇÃO COMUNITÁRIA DE QUELÔNIOS NO AMAZONAS

Programas de Manejo e conservação comunitária de quelônios, como o programa Pé-de-pincha, já devolveram, desde 1999, mais de 5,5 milhões de filhotes de quelônios à natureza em 123 comunidades de 18 municípios (Amazonas e Pará) protegendo 88% das áreas de quelônios no Amazonas (ANDRADE, 2017). Graças aos projetos de manejo de quelônios com base comunitária na Amazônia, as populações de tartarugas e tracajás vem sendo recuperadas (FORERO-MEDINA *et al*., 2019), sendo que, o esforço dos monitores de campo, tem ajudado não só a proteger os quelônios, mas geram benefícios a inúmeras outras espécies da fauna local (CAMPOS-SILVA *et al*., 2018).

No sistema comercial tradicional de criação de quelônios, tipo *ranching*, o IBAMA fornece os filhotes de quelônios aos criadores registrados (IN N°007/2015), que deverão mantê-los em tanques escavados ou barragens, em áreas com titulação da terra e comprovação de renda. Dessa forma, pela normatização que havia, dificilmente os comunitários que protegiam de forma participativa e voluntária os ninhos e filhotes de quelônios, reuniam os requisitos para se enquadrarem na legislação vigente e se tornarem criadores legalizados (ANDRADE, 2017).

Em 2017, o Conselho Estadual do Meio Ambiente do Amazonas (CEMAAM) reconheceu oficialmente os esforços das comunidades, criando 265 áreas de proteção de quelônios no Estado (Resolução CEMAAM Nº 25/2017–DOE,2017). Também, foi publicada a Resolução CEMAAM Nº 26/2017 que regulamenta o sistema comunitário de criação de quelônios no Amazonas, permitindo as comunidades realizarem cria, recria e engorda de um percentual dos filhotes de tartaruga (10%) e tracajás (20%) que protegeram. Isso foi uma inovação pois, anteriormente, essas comunidades que faziam a proteção, não conseguiam se registrar como criadores de quelônios pela INº MMA Nº7/2015.

Esta possibilidade de manejo *ex situ* de quelônios pela coleta de uma proporção dos filhotes de espécies de quelônios superexploradas, para criá-los em condições seminaturais para serem comercializados, parece ser uma solução, para gerar renda e cobrir parte dos gastos para proteção da espécie (CAMPOS-SILVA *et al*.,2018). O que parece ser promissor, não só pelo aspecto econômico, como pela relevância na segurança alimentar e na cultura dos povos da região (DANTAS-FILHO *et al*.,2020). Só *Podcnemis expansa* e *P. unifilis*) estão liberados para a criação comunitária, pelo seu potencial zootécnico. O desenvolvimento de sistemas de criação comunitários, em lagos ou tanques-rede, pode contribuir para diminuir a exploração destes animais na natureza (OLIVEIRA *et al*.,2012).

No sistema comercial tradicional de criação de quelônios (*ranching*), o IBAMA fornecia os filhotes aos criadores que deveriam mantê-los em tanques ou barragens, em áreas com título da terra (ANDRADE, 2017). A partir da Resolução N° 26/17 de criação comunitária, foi reforçada a importância da implementação e avaliação de sistemas comunitários de

cultivo de quelônios para o Amazonas. Os criadores comerciais de quelônios têm usado na alimentação dos filhotes até 3 anos de cultivo (cria e recria), principalmente subprodutos proteicos de origem animais locais como vísceras bovinas (20%) e resíduos de filetagem de pescado (40%),e também restos de feira, frutas e tubérculos (20%), só 20% forneciam ração comercial (alevinagem de peixes), com 38-45% de proteína (ANÍZIO, 2009; ANDRADE, 2008). Mas, pouco se sabe sobre a alimentação das tartarugas e tracajás quando filhotes na natureza, já que a maior parte dos estudos sobre alimentação destas espécies foi realizada com a coleta em animais adultos (GARCEZ *et al*., 2012 e 2020).

Os comunitários mantêm os filhotes em berçários por períodos de 2-3 meses antes da soltura, sendo alimentados tanto com ração como macrófitas aquáticas, plantas e frutas locais (ANDRADE,2012). A taxa de sobrevivência para filhotes de tracajás criados em berçários até 60-90 dias, alimentados com macrófitas, plantas locais, peixe e ração peletizada (42% PB) e, depois soltos na natureza, pode ser de 18%, maior que a sobrevivência de filhotes soltos logo após nascer (1,4%) (ANDRADE, 2017). Oliveira *et al*. (2006) fizeram o levantamento dos possíveis alimentos utilizados pelos quelônios em comunidades de Parintins e Barreirinha. Diferentes tipos de instalações e de alimentação para filhotes de quelônios mantidos pelas comunidades em berçários foram avaliados por Oliveira *et al.* (2012) e Andrade (2008, 2012).

Portal *et al.* (2002), estudaram a alimentação natural de *Podocnemis unifilis* no Pracuúba, Amapá, e encontraram 35 espécies vegetais (leguminosas, 22,8%; gramíneas, 8,6%), das quais 8 apresentaram boa possibilidade de serem ingredientes de ração regional, pelos seus valores nutricionais e disponibilidade na natureza (*Commelina longicaulis*, 21%; *Polygonum acuminatum*, 20%; *Aschymene sensitiva*, 20%; *Macrolobium acaiaefolium*,17%; *Oryza glandiglumes*,15%; *Thalia geniculata*,14%; *Nymphaea rudgeana*,11% e *Hymenachne amplexicaulis*,10%). Garcez et al.(2020) estudou a alimentação de tartarugas, tracajás e iaçás no rio Juruá e observou estratégia alimentar generalista e hábitos herbívoros nos períodos de cheia e seca.

Os recém-nascidos demonstram maior preferência pela dieta carnívora do que os animais mais velhos (ANDRADE, 2008; ALMEIDA e ABE, 2009), sendo que, animais alimentados com proteína de origem animal apresentam melhor desempenho em cativeiro (ANDRADE, 2008; ARAÚJO *et al*., 2012).

## Criação de quelônios em tanques-rede

O programa Pé-de-Pincha vem desenvolvendo esse tipo de sistema em comunidades rurais desde ano 2000, o incentivo é devido o baixo custo de implantação para ribeirinhos. Este tipo de criação é classificada como semi-intensiva, pois o sistema não possibilita a criação em grande escala.

Manejar é como fazer uma caderneta de poupança. A cada ano, aumenta o número de quelônios. Com a fartura voltando à várzea, ganha o meio ambiente e ganham os seres humanos, pois aumenta a oferta de alimentos e crescem as possibilidades de se fazer criação em cativeiro, gerando renda para as comunidades locais com a venda de carne, ovos e filhotes (ANDRADE, 2008).

É de muita importância à criação comunitária de quelônios, pois além de ser uma

das principais fontes de proteína, pode ser também, uma forma dos comunitários obterem renda. Como a criação comunitária não pede manter um sistema de criação intensiva (com grandes tanques escavados), está sendo testado novo sistema de criações como tanque-rede, visando baratear a atividade e mantendo as boas condições zootécnicas da espécie cultivada.

Alves (2005) observou que tracajás criados em gaiolas apresentaram desempenho no crescimento da carapaça superior aos animais criados nas outras instalações com menor renovação de água.

Um estudo realizado Oliveira *et al*. (2012) por meio do programa “Pé-de-Pincha” da Universidade Federal do Amazonas, acompanhou a criação comunitária no baixo Amazonas utilizando 10 tanques-rede (tanques com armação de ferro galvanizado, tela de alambrado fio 14, malha 2”, revestida com plástico impermeável, própria para piscicultura, medindo 2 m X 2 m X 1,5 m) em unidades demonstrativas e a quantidade de animais foram 298 *P. expansa e* 2139 *P. unifilis* de 0 a 36 meses de idade, entre os anos de 2005 a 2008.

A alimentação fornecida foi ração comercial extrusada inicial para piscicultura a 5% da biomassa, com 36% de Proteína Bruta, 3,5% de extrato etéreo, 7% de fibra bruta, 11% de matéria mineral, 3% de cálcio, 1,6% de fósforo, 13% de umidade e com granulometria de 0,2 a 0,4 mm. Eventualmente, foram fornecidos alimentos alternativos como beldroega, mureru, jerimum, couve, macaxeira, peixe assado, o que acabou suplementando a dieta dos animais em cada unidade.

É de extrema importância que os filhotes destinados à criação em cativeiro, no primeiro ano de cultivo, recebam ração a 5% da biomassa e com um melhor índice de proteína, pois com isso diminuirá o tempo de cultivo.

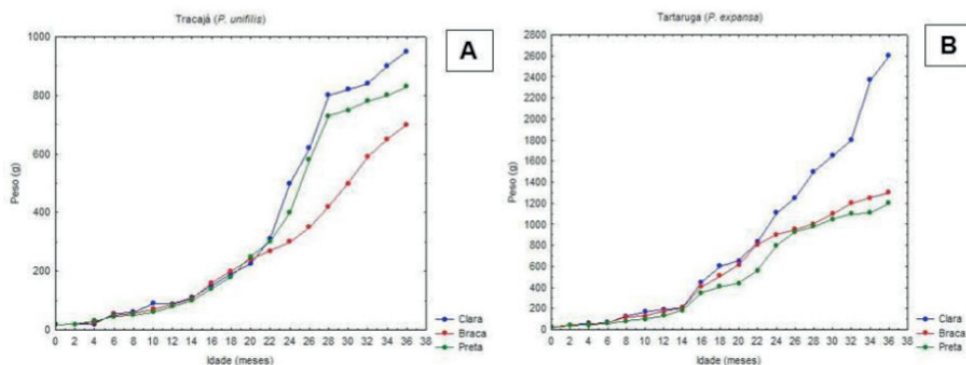



Figura 3: Peso médio de tracajá (A) e tartarugas (B) de 0 a 36 meses criados em tanque-rede em diferentes tipos de água. Fonte: Oliveira, 2012.

A partir dos 2 anos, os animais criados em ambientes de água clara cresceram mais que em água branca e preta, porém mas não foi verificado o efeito significativo da densidade sobre o peso final de cultivo ($P<0,594$) e também não há relação significativa entre as três faixas de densidade de cultivo utilizada (20,40 e 60 animais/$m^3$) e o peso final ($R^2$ = 9,2%).

Os quelônios criados em tanque-rede apresentaram melhor ganho diário de peso,

quando submetidos a uma densidade de 17 – 50 ind./m, porém sem diferenças significativas, mas criações com 50-65 animais/m3 apresentaram uma tendência a terem maiores ganhos diários em peso.

As tartarugas de até 22 meses na densidade de 17-50 ind/m³ apresentaram resultados de GDP 1,2 g/dia, valores semelhantes encontrados por Andrade *et al.* (2007), relata que tartarugas com 16 meses criadas em sistema superintensivo com ração balanceada obteve um GDP de 1,02 g/dia com uma densidade de 37 ind/m³.

Os tracajás mantidos a uma densidade de 50-62 ind/m³ chegaram a um GDP de 0.83 g/dia (animais com 22 meses) e 1.69 g/dia (animais com 36 meses). Rodrigues e Andrade (2005) apresentam resultados de GDP para tracajá (16 meses) em tanque-rede de 0,41g/dia, a uma densidade de até 65 a 100 animais/m³. Alves (2005) observou que tracajás criados em tanque-rede que foi de 0,38g/dia. Já os tracajás com até 10 meses a uma densidade de 15-50 ind/m³ tiveram um GDP de 0.32 g/dia, esses resultados são satisfatórios quando comparados com de o Andrade (2008).

Quanto à mortalidade, os animais tiveram problemas com ataque de sanguessugas em áreas de águas pretas, eram mais atacados quando os tanques-rede estavam colocados em águas com profundidade era inferior a 3 metros. Os animais infectados apresentavam sintomas de fraqueza, deixavam de se alimentar, o que refletiu no ganho diário de peso. Os animais eram tratados com sal e limão, para soltarem do animal parasitado, e ficava em quarentena.

Quanto à predação, registrou-se em rios de água preta, a predação e competição com aracú (*Leporinus fasciatus*), que entravam pequenos através das malhas e ruía o umbigo dos filhotes, os animais ficavam fracos, não se alimentavam e morriam. Em rios de água branca, registrou-se nos tracajás predação por piranhas (*Serrasalmus sp*), que ficavam próximo do tanque-rede atraídos pelo “piche” do ovo, esperando que algum filhote coloca-se a cabeça entre as malhas e então eram decapitados, ou entravam pequenas entre as malhas e mordiam borda da carapaça. Outro fato que ocorrente no mesmo tipo de água, foi ataque de fungos na carapaça e mosquitos, isso quando os animais subiam para tomar sol, os mosquitos ficavam sugando a secreção ocular, e os filhotes acabavam se arranhando e olhos ficavam inchados, os animais deixavam de se alimentar e morriam.

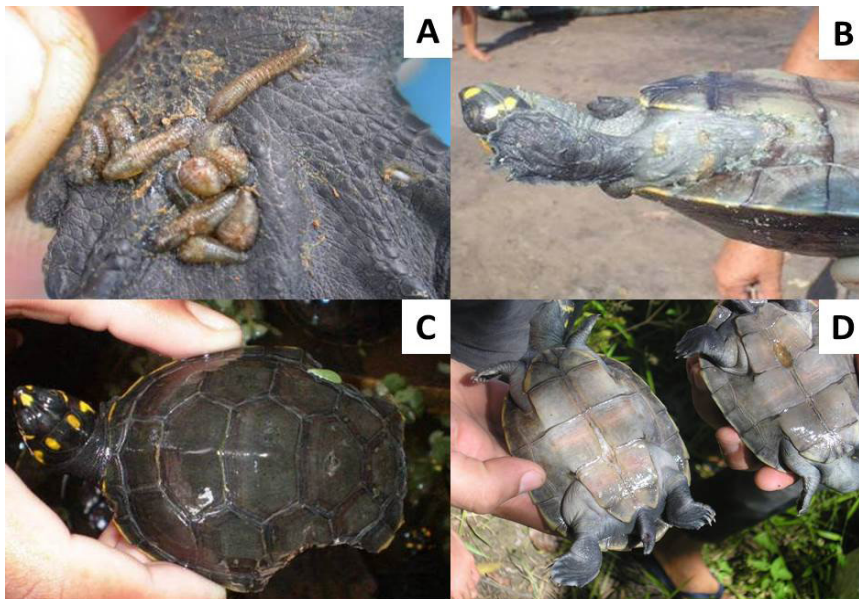



Figura 4: Tracajás (*P. unifilis*) (A) e (B) infestados por sanguessuga,(C) predado por piranhas (*Serrasalmus* sp.) e (D) predado por aracú (*Leporinus sp.*). Fonte: Oliveira, 2012.

A taxa de mortalidade para *P .expansa* foi de 24,33% e o *P.unifilis* com 17,7% de mortalidade, sendo o último mais resistente. O parasitismo por sanguessugas é o principal problema encontrado na sanidade, com ataques em mais de 50% dos tanques-rede, principalmente, em águas pretas e claras.

Nas áreas com as unidades demonstrativas de criação comunitária, os principais problemas apresentados foram a falta de comunicação para orientações técnicas e furtos. Houve unidade em que todos os animais que já tinha alcançado o tamanho comercial foram furtados.

Um dos fatores que mais influência no desempenho zootécnico além do tipo de água onde foi instalado e densidade de cultivo, são os manejos e cuidados dispensados por família a sua unidade de criação comunitária. Em locais onde, os tanques-rede eram movimentados de acordo com a subida e descida das águas, procurando locais mais profundos e seguros, não tivemos problemas de parasitas ou predação. Onde os produtores se preocuparam em limpar as telas dos tanques e, até os próprios animais.

Dos quelônios criados neste sistema, 65% atingiram a idade média de abate (24-36 meses) com animais acima do peso legal para venda (Portaria No. 070/1996), ou seja, maiores que 1,5 kg peso vivo.

Em uma comercialização experimental com 10 unidades de *P. unifilis* da criação comunitária, o preço comercializado foi 10,00 R$/kg, com potencial de venda estimado em R$ 8.660,00. Esse sistema de criação apresenta uma lucratividade em torno de 12 a 13%, sendo perfeitamente viável para populações ribeirinhas.

## 4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quelonicultura contribui para a diminuição da exploração clandestina sobre estes animais na natureza. As espécies amazônicas de quelônios mais procurados para criação são a tartaruga-da-Amazônia e tracajá. Numa criação comercial, as instalações necessárias são berçários para filhotes, tanques e barragens para engorda de juvenis e praias artificiais para reprodução, todos cercados para evitar fugas e predações. O estado do Amazonas é o maior criador de quelônios do país, representando 87% da produção em cativeiro da Amazônia, sendo sistema semi-intensivo o principal modelo de criação.

O grande avanço da quelonicultura no Amazonas está relacionado a alguns fatores como a (i) grande demanda do mercado local para consumo da carne de quelônios (tartarugas, tracajás e iaçás), (ii) interesse dos produtores para se regularizarem como criadores legalizados e ao (iii) incentivo e suporte técnico-científico (extensão e pesquisa) proporcionado pelo IBAMA-AM fruto de um acordo de cooperação técnica com a Universidade Federal do Amazonas.

Entre os principais entraves e possíveis soluções encontradas por quem quer criar quelônios no Estado do Amazonas podemos destacar a (i) necessidade de formar mais técnicos especializados na criação de quelônios, (ii) indefinição entre os órgãos estaduais sobre a quem caberia atender o criador de animais silvestres, (iii) definição da metodologia de abate, (iv) organização da comercialização e propaganda, e (v) necessidade imediata do IBAMA e do IPAAM tornarem mais ágil e eficiente as atividades que envolvem desde o registro do criador até a comercialização. Essa carência no sistema de produção de quelônios, pode não incentivar um potencial de bionegócio que é considerado lucrativo e possui mercado local.

## REFERÊNCIAS


ALMEIDA, C. G.; ABE A.S. **Aproveitamento de alimentos de origem animal pela tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa)* criada em cativeiro**. Acta Amazonica [online], v 39, n.1, p. 215-220, 2009.

AMAZONAS, Governo do Estado. Programa de monitoramento da biodiversidade e do uso dos recursos em unidades de conservação estaduais do Amazonas : uma experiência de monitoramento participativo. SDS, Manaus. 2014. 57 p.

ANDRADE, P.C.M. 2017. “Manejo participativo de quelônios por comunidades na Amazônia”. In: Olhares cruzados sobre as relações entre seres humanos e animais silvestres na Amazonia (Brasil, Guiana Francesa), ed.Marchand, G.; Velden, F. V. (Manaus, BR, EDUA),163-192.

ANDRADE, P. C. M. 2015. **Manejo Comunitário de Quelônios (Família Podocnemididae - Podocnemis unifilis, P.sextuberculata, P.expansa, P.erythrocephala) no Médio Rio Amazonas e Juruá**.1ª.ed. Editora & Gráfica Moderna, Manaus. 2015. v. 1. 324p.

ANDRADE, P.C.M. 2012. **Manejo Comunitário de Quelônios** Projeto Pé-de-pincha. Gráfica Moderna, Manaus.2012. 786 p

ANDRADE, P.C.M. 2008. **Criação e Manejo dos Quelônios no Amazonas**. Editora Pro Várzea/ FAPEAM/SDS, 2ªed. Manaus, AM. 2008. 522 p.

ANDRADE, P. C. M., NASCIMENTO, J. P., OLIVEIRA, A. B., OLIVEIRA, P. H. G., Rodrigues, W., ALMEIDA JUNIOR, C. D. **Levantamento de Fauna do Plano de Manejo da RESEX Baixo Juruá**. 2005.

ANDRADE, P. C. M., ALMEIDA JUNIOR, C. D., AZEVEDO, S. H. S., DUARTE, J. A. M., NASCIMENTO, A. C. O. 5. **Herpetofauna: Crocodilianos e Quelônios** In: Unidades de Conservação do Amazonas no Interflúvio Purus-Madeira: Diagnóstico Biológico.1 ed.Manaus : Editora da Universidade Federal do Amazonas -EDUA, 2015, v.1, p. 149-191.

ANÍZIO,T.L.F. **Avaliação dos sistemas de produção e da cadeia produtiva da criação comercial de quelônios nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Itacoatiara.** Monografia de Graduação em Engenharia de Pesca. FCA-UFAM. Manaus, 56 p. 2009.

ARAÚJO, J. C.; PALHA, M.D.C. CORREIA, R.;VIEIRA, P. **Nutrição na quelônicultura** – revisão. Revista eletrônica Nutritime. Vol10, N.6. p. 2833 – 2871. 2013

ALVES, H.B. 2005. **Criação de Quelônios (*Podocnemis spp.*) por comunidades do Rio Juruá e Baixo Amazonas/ AM.** Relatório Final PIBIC. UFAM, Manaus. 25 p.

BALESTRA, R.A.M.; VALADÃO, R.M.; VOGT, R.C.; ANDRADE, P.C.M. ET AL. 2016. **Roteiro para Inventários e Monitoramentos de Quelônios Continentais. Monitoramento da conservação da biodiversidade: aprendendo com experiências vividas, com ênfase nas unidades de conservação.** Biodiversidade Brasileira, 6(1): 114-152, 2016. ICMBIo. p.114-152.

CAMPOS-SILVA, J.V.; HAWES, J.E.; ANDRADE, P.C.M. E PERES, C.A. **Unintended multispecies co-benefits of an Amazonian community-based conservation programme.** Nature Sustainability. 2018.V.1.p.650–656.

CANTO, S. L. O.; OLIVEIRA, M. DA S. DE ; RODRIGUES, E., C. P. DE G.; DUARTE, J. A. M.; ANDRADE, P. C. M .**Consumo de produtos da fauna silvestre no Estado do Amazonas.** In: Anais do IV Congreso Internacional Sobre Manejo de Fauna Silvestre en Amazonia y Latino America, Asunción,Paraguay. pp.125. 1999.

CHARITY, S., FERREIRA, J.M. 2020. **Wildlife Trafficking in Brazil**. TRAFFIC International, Cambridge, United Kingdom. 140 p.

DOE. 2017.Diário Oficial do Estado do Amazonas. 14 de setembro de 2017, Manaus.p.13-17.

FORERO-MEDINA, G.; FERRARA, C.R.; VOGT, R.C.; FAGUNDES, C.K.; BALESTRA, R.A.M.; ANDRADE, P.C.M. et al. **On the future of the giant South American river turtle *Podocnemis expansa.* Oryx,** p.1-8. 2019.

GARCEZ,J.R.; ANDRADE,P.C.M.; SOARES,M.G.M. **Composição da dieta de três espécies de quelônios no rio Juruá, Amazonas.** Igapó Rev.de Educação,Ciência e Tecnologia do IFAM. Vol. 14 - Nº 1 – Junho 2020.p.60-72

GARCEZ, J.R. **Comercialização e reprodução da tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa*) e do tracajás (*P.unifilis*) em cativeiro no estado do Amazonas.** Monografia de graduação em engenharia de pesca. UFAM. 2009. 42 p.

GARCEZ,J.R.; ANDRADE, P.C.M.;SOARES, M.G.M. et al. Capítulo 9: **Composição da dieta de Tracajá (Podocnemis unifilis), iaçá (P. sextuberculata) e tartaruga (P. expansa) no Rio Juruá e de tracajá (P. unifilis) no Médio Rio Amazonas.** In: Andrade, P.C.M. Manejo Comunitário de Quelônios Projeto Pé-de-pincha. Gráfica Moderna, Manaus.2012. p.443-462.

LIMA, A.C.; SILVA, C.J.; MATEUS, W.D.; ANDRADE, P.C.M.; SOUZA, A.Q.L. **Stakeholders in community management of turtle in Brazilian Amazon**. In:Soares,M.A. & Jardim, M.A.G. Natural resources in wetlands: from Pantanal to Amazonia. MPEG, Belém. 2017. p.15-36.

LIMA, A. C. **Caracterização socioeconômica e ambiental da criação de quelônios no Estado do Amazonas**. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências do Ambiente/UFAM. Manaus. 2000. 150 p.

NASCIMENTO, C.A.R. **Histórico Oficial do Comércio Ilegal de Fauna no Amazonas.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 53 p. 2009.

OHANA, C.C. **Diagnóstico do consumo e comercialização de animais silvestres na região Amazônica.** Monografia de Graduação em Engenheira Florestal. FCA-UFAM. Manaus, 63 p.2009.

OLIVEIRA, A.B.; ANDRADE, P.C.M.; ALVEZ, H.R.B. et al.2012. Capítulo 16: **Criação Comunitária de Quelônios em Tanques-rede.** In: Andrade, P.C.M. Manejo Comunitário de Quelônios Projeto Pé-de-pincha. Gráfica Moderna, Manaus.p.653-686.

OLIVEIRA, P. H. G., ANDRADE, P. C. M., OLIVEIRA, N. S., AZEVEDO, S. H. **Levantamento e manejo de quelônios (Podocnemis spp.) por comunidades do médio Amazonas**- Programa Pé-de-pincha/ Jovem Cientista Amazônida. In: Anais do VII Congresso Internacional sobre Manejo de Fauna Silvestre na Amazônia e América Latina. Ilhéus: UESC, 2006a. p.16 – 16.

RODRIGUES, W.; ANDRADE, P.C.M. 2005. **Avaliação dos tipos de instalações e alimentação de quelônios (*Podocnemis sp.*), em projetos comunitários em Parintins e Barreirinha no Amazonas**, Brasil. Manaus-AM.

PEREIRA, C.F.; SILVA, S.C.P.; FRAXE, T.J.P.; WITKOSKI, A.C. **Análise da caça nas comunidades da área de atuação do PIATAM.** In: Fraxe, T.J.P.; Pereira, H.S.; Witkoski, A.C. (org.). Comunidades ribeirinhas amazônicas: Modos de vida e uso dos recursos naturais. Reggo Ed., Manaus. 2011. p.157-168

TRAJANO, M.C. E CARNEIRO, L.P. 2019. **Diagnóstico da Criação Comercial de Animais Silvestres no Brasil**. Ibama, Brasília, 2019.56p.

WETTERBERG, G.B.; FERREIRA, M.; BRITO, W.L.S.; ARAÚJO, V.C. **Espécies da Fauna Amazônica Potencialmente Preferidas para Consumo nos Restaurantes de Manaus.** Brasil Florestal, Vol. 7, No. 25, p.59-68. 1976.

Zhou, Z. & Jiang, Z. 2008. **Characteristics and Risk Assesment o f International Trade in Tortoises and Freshwater turtles in China**. Chelonians Conservation and Biology, 7(1):28-36.

# CAPÍTULO 3

## AQUAPONIA NA AMAZÔNIA

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de submissão: 27/11/2020*

**Rondon TatsutaYamane Baptista de Souza**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Itacoatiara – Amazonas
http://orcid.org/0000-0002-5459-6167

**Sarah Ragonha de Oliveira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Itacoatiara – Amazonas
http://orcid.org/0000-0003-4319-3925

**Danniel Rocha Bevilaqua**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manacapuru – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-6043-7867

**RESUMO:** Este capítulo descreverá o conceito de aquaponia, o seu funcionamento e seus componentes. Será descrito ainda as principais vantagens do uso deste sistema para a produção agroalimentar na região amazônica com enfoque na produção de tambaqui e pirarucu, assim como a produção de alface. Serão apresentadas as experiências exitosas nos diversos trabalhos realizados pela equipe no decorrer dos últimos 10 anos, apresentando dados de desempenho agronômico das plantas cultivadas e zootécnico dos peixes produzidos. Mostraremos ainda formas de construção, materiais utilizados , tipos de filtro e bancadas de produção das hortaliças. Por fim serão apresentados os pontos mais relevantes no manejo diário de um sistema aquapônico, tipos de ração, quantidades de plantas em relação a quantidade de peixes, qualidade de água e dicas para quem pretende iniciar um sistema.
**PALAVRAS-CHAVE**: Aquicultura, sustentabilidade, recursos hídricos.

### AQUAPONICS IN THE AMAZON

**ABSTRACT:** This chapter will describe the concept of aquaponics, its operation and its components. The main advantages of using this system for agri-food production in the Amazon region will also be described, with a focus on the production of tambaqui and pirarucu, as well as the production of lettuce. Successful experiences will be presented in the various works carried out by the team over the past 10 years, presenting data on the agronomic performance of cultivated plants and the zootechnics of the fish produced. We will also show forms of construction, materials used, types of filters and vegetable production benches. Finally, the most relevant points will be presented in the daily management of an aquaponic system, types of feed, quantities of plants in relation to the quantity of fish, water quality and tips for those who intend to start a system.
**KEYWORDS:** Aquaculture, sustainability, water resources.

## 1 | INTRODUÇÃO

Na atualidade, a necessidade de desenvolver estratégias para diminuir a dependência da terra, da água e minimizar o descarte de efluentes no meio natural tem impulsionado estudos acerca de diferentes métodos de produção de alimentos – métodos alternativos aos convencionais (EMERENCIANO et al., 2015), que aumentem a produção de

alimentos, diminuam o desperdício e garantam a sustentabilidade da produção (ABUSIN & MANDIKIRANA, 2020).

Em meio aos métodos não convencionais, a aquaponia emerge como um inovador sistema que atende às necessidades da produção de alimentos sustentável. A aquaponia é um mecanismo de produção agroalimentar que integra a hidroponia (cultivo de plantas sem um substrato) com a aquicultura (cultivo de organismos aquáticos). Nesse sistema, se estabelece uma relação entre os organismos aquáticos cultivados (geralmente peixes), bactérias e plantas (Figura 1). Os nutrientes residuais do cultivo de peixes são transformados pelas bactérias nitrificantes em produtos absorvíveis pelas plantas, que favorecem o desenvolvimento dos vegetais (EMERENCIANO et al., 2015).

**Unidades de produção de hortaliças**
Filtragem da água

**Filtro biológico**
Transformação dos nutrientes

**Tanque de produção de peixes**
Água rica em nutrientes provenientes dos resíduos

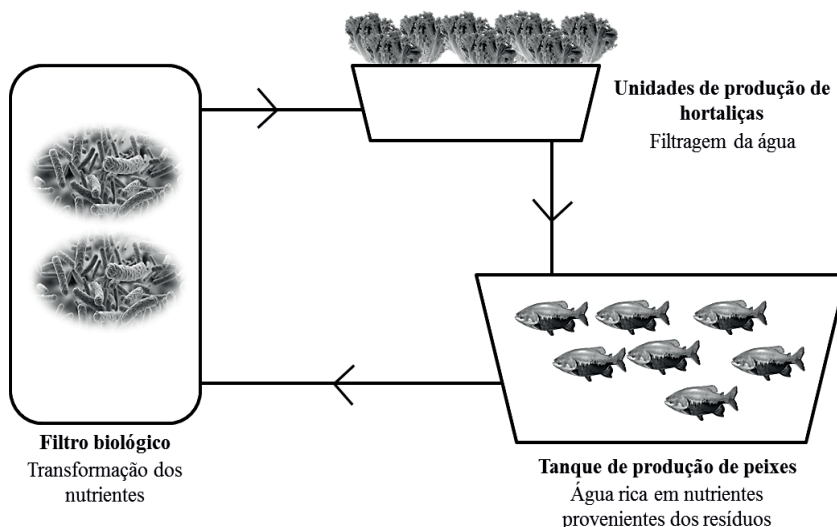



Figura 1 – Esquema do ciclo biológico da aquaponia. Fonte: Souza (2018)

Na aquaponia, o uso de sistemas de recirculação de água do tanque de cultivo de organismos aquáticos através de um filtro biológico se caracteriza em uma avançada técnica de tratamento dos resíduos provenientes da criação. Como resultado, a quantidade de água e de espaço necessários para a produção intensiva de alimentos é significativamente reduzida (DELAIDE et al., 2019). Comparada a sistemas convencionais de cultivo utilizando o solo, a aquaponia pode apresentar níveis diferentes na eficiência do uso da água, variando numa taxa entre 2,36 a 10 vezes mais eficiência (LOVE et al., 2015; McMURTY et al., 1997). Assim, a economia no uso da água é um fator relevante: em produções olerícolas convencionais utiliza-se aproximadamente 450 litros de água por quilo de matéria seca. Já na produção aquapônica não há desperdício de água: uma vez abastecido e em equilíbrio apropriado, o consumo de água pelo sistema pode ser reduzido à reposição das perdas por evapotranspiração (TIMMONS & EBELING, 2007), o que muitas vezes, na região Norte, acontece durante as frequentes precipitações.

Portanto, os resíduos produzidos pelos organismos aquáticos agem como insumo que fornece nutrientes para o crescimento das plantas. Isso traz uma vantagem ao sistema,

pois a produção das hortaliças não depende do tipo ou qualidade do solo (ABUSIN & MANDIKIRIANA, 2020). Logo, uma grande variedade de espécies olerícolas podem ser produzidas a partir desse sistema como, por exemplo, alface, almeirão, agrião, rúcula, ervas aromáticas, hortelã, jambu, chicória, cheiro verde, dentre outras; como também uma variedade de espécies de peixes, como acarás, tambaqui, ou até mesmo o pirarucu, além de camarões de água doce ou outros organismos aquáticos.

No Brasil, a aquaponia comercial ainda está iniciando, mas vem se desenvolvendo graças ao aperfeiçoamento de novas técnicas de cultivo com baixo custo. Diversos pesquisadores e institutos de pesquisa vêm desenvolvendo protótipos com o intuído desenvolver o setor. E todos esses trabalhos estão sendo relacionados por diversos alunos e estudantes de graduação e pós-graduação, proporcionando difusão da tecnologia (HUNDLEY & NAVARRO, 2013; BUSS et al., 2015; CARNEIRO et al., 2015; KODAMA, 2015; KUHNEN et al., 2016; BELINTANO et al., 2019). Contudo, um fator que favorece o uso da aquaponia é o desenvolvimento urbano. Esse fenômeno social impele os produtores a migrarem para regiões cada vez mais distantes dos centros consumidores e para terras impróprias à agricultura, o que gera uma demanda por métodos alternativos de cultivo. A possibilidade do aproveitamento de materiais para a construção do sistema (NICHOLS & SAVIDOV, 2011) o torna mais acessível para a população de baixa renda, oportunizando um sistema de produção de alimentos de qualidade de baixo custo, quando comparado a outros sistemas, como a hidroponia e a aquicultura (ADAMS et al., 2019).

Portanto, a aquaponia apresenta inúmeras vantagens em relação aos agroecossistemas convencionais: como maior eficiência no uso de água e área; aproveitamento dos resíduos de outras culturas como fonte de nutrientes; elevada produtividade; menor gasto de insumos e mão-de-obra (SOARES et al., 2015; PAULUS et al., 2010); manutenção das condições ambientais propícias para a criação por todo o ano; possibilidade de obtenção de várias safras durante o ano e de manejo intensivo para a obtenção de produtos mais homogêneos (BRAZ FILHO, 2000).

Além disso, na produção aquapônica não se utilizam agroquímicos e antibióticos. Neste caso, se forem utilizados agroquímicos para controle de eventuais pragas nas plantas, a vida dos peixes e das bactérias que habitam o filtro biológico estaria comprometida. Da mesma maneira, se forem aplicados antibióticos para o controle de eventuais doenças nos organismos aquáticos, certamente o filtro biológico perderia totalmente sua função, pois as bactérias morreriam.

Já foram descritas espécies como alface, agrião, rúcula, manjericão, salsinha, menta e cebolinha produzidas em aquaponia e apresentando bons resultados (SOARES et al., 2015; CASTELLANI et al., 2009). No Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), *campus* Itacoatiara, foi iniciado um projeto piloto utilizando como espécie aquícola o tambaqui (*Colossomamacropomum*) e como espécie vegetal o jambu (*Spilanthesoleraceae*) (Figura 2), o qual apresentou um desenvolvimento muito rápido quando comparado ao plantio no solo, indicando que esta espécie tem potencial para ser produzida nesse método de cultivo (SOUZA et al., 2019). No Brasil, as espécies aquícolas mais utilizadas são a tilápia e o camarão (SOARES et al., 2015; CASTELLANI et al., 2009).

Figura 2 – Jambu produzido no sistema experimental instalado no IFAM. Fonte: Souza (2018)

No campus Itacoatiara temos trabalhado, juntamente com os alunos dos cursos técnicos em Agropecuária e Agronegócios, na realização de diversos trabalhos de conclusão de curso que apresentaram resultados promissores na produção da aquaponia na região. Em um destes trabalhos desenvolvidos em parceria com uma empresa de hidroponia no município comparou-se a produção de alface nos dois diferentes sistemas: a hidroponia e a aquaponia. Neste trabalho, ficou evidenciado que as plantas produzidas na aquaponia têm crescimento similar ao crescimento em cultivos hidropônicos convencionais, apresentando ainda características de vigor mais acentuadas quando cultivadas em sistema hidropônico (Figura 3).

Figura 3 – À esquerda cultivo hidropônico e à direita cultivo aquapônico, plantas com a mesma idade.

Fonte: O Autor, 2016.

Uma característica marcante no sistema aquapônico é a facilidade de realizar policultivos, tanto de hortaliças como de peixes. Para criações comerciais se utilizam apenas uma espécie de planta e uma espécie de peixe, porém em sistemas caseiros de fundo de quintal os produtores podem optar por produzir diversas hortaliças simultaneamente. Isso, além de diversificar a produção, contribuirá para o combate à propagação de pragas e doenças entre os canteiros. Um exemplo é a produção consorciada de alface, jambu, hortelã e cebolinha. Neste caso, a cebolinha e hortelã são cultivadas entre as plantas de alface, agindo como repelente natural de insetos que potencialmente poderiam predar as folhas, depreciando a qualidade o produto (Figura 4). Essa prática tem se mostrado muito eficiente e praticamente não se utilizam produtos repelentes para preservar a cultura da alface.

FIGURA 4 – Cultivo consorciado entre jambú, cebolinha, alface crespa, alface roxa e hortelã.
Fonte: Os Autores, 2016.

Tartarugas de água doce também são um componente importante da aquicultura de muitos países asiáticos. Na China, por exemplo, a produção de tartaruga chinesa (Pelodiscus) para consumo humano, equivale a 0,6% de sua produção aquícola total de cultivos em água doce, cerca de 92 mil toneladas/ano. A importação de quelônios ou partes deles para consumo entre (1998 e 2004) foi de cerca de 320 toneladas/ano de carne (2.243.100 exemplares) e 76 toneladas de carapaças (ZHOU e JIANG, 2008). A criação de

quelônios tem potencial para minimizar o impacto da demanda comercial para os produtos de tartaruga em populações selvagens.

Mesmo com o sistema oficial de proteção do Governo feito pelos órgãos ambientais, na Amazônia, os quelônios têm sido, e continuam a ser, uma das principais fontes de proteína para população nativa, sendo que a *Podocnemis expansa*, pelo seu tamanho, quantidade de ovos e qualidade da carne sempre foi a espécie mais explorada (CORREA, 1978; FACHÍN-TERÁN, NASCIMENTO, 2009; PEREIRA *et al.*, 2011). Mais de 90% dos criatórios legalizados de animais silvestres (sistemas de manejo intensivo ex situ) no Amazonas são de *Podocnemis expansa* (ANDRADE, 2008; ANÍZIO, 2009). Esta preferência alimentar por quelônios pode ser constatado nas feiras, mercados e restaurantes da região, como sendo o animal silvestre mais comercializado ilegalmente (WETTERBERG et al., 1976; CANTO *et al*. 1999; OHANA, 2009; NASCIMENTO, 2009).

Em levantamentos realizados em áreas de manejo comunitário no Médio Amazonas, as espécies mais consumidas foram tracajás (55%), jabutis (21%) e cabeçudos (10%), sendo que 47,7% dos comunitários afirmaram que esses animais continuavam a serem comercializados, ao preço médio de R$20,2/tracajá e R$83,5/tartaruga (ANDRADE *et al,* 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2006). No rio Juruá, a situação mostrou-se mais grave com a captura ilegal de quelônios ocorrendo mesmo dentro de unidades de conservação federais. Na Reserva Extrativista (RESEX) do Baixo Juruá, cerca de 63,6% dos comunitários afirmaram haver captura e comércio ilegal de quelônios, e na RESEX Médio Juruá, 100% confirmaram essa prática (47% vendidos na cidade, 35% na própria comunidade e 8% para os regatões).

## 2 | COMPOSIÇÃO DO SISTEMA

Os desenhos de um sistema de aquaponia podem variar. Contudo, para o seu funcionamento adequado, três processos e componentes são essenciais e complementares: 1) o cultivo dos peixes em tanques onde há a entrada de nutrientes na forma de ração; 2) a nitrificação das diferentes formas de apresentação do nitrogênio em filtros biológicos, e; 3) parcela vegetal do sistema que faz a absorção de nutrientes (RAKOCY, 2007). Outros componentes secundários ao sistema, mas que garantem o seu bom funcionamento, são as bombas d'água e os geradores de energia (EMERENCIANO et al., 2015).

### 2.1 Tanques

Um ponto chave na produção aquapônica é a escolha do local onde os organismos aquáticos serão mantidos. Essa escolha não é tão simples, pois dela dependerá todo o dimensionamento do sistema.

Os tanques/viveiros/caixas de criação poderão ser dos mais diversos materiais. Os produtores utilizam caixas d'água, piscinas de lona, bombonas plásticas, viveiros escavados, viveiros revestidos (lona, geomembrana, cimento), tanques de alvenaria, tanques de ferrocimento ou, ainda, tanques reutilizados de produtos químicos ou alimentícios. O importante na escolha é o seu volume e qual a densidade de peixes indicada para iniciar a produção.

A densidade de estocagem é o cerne da produção aquapônica, pois dela dependerá

a quantidade de ração que será empregada no sistema e, consequentemente, a quantidade de plantas produzidas. A literatura cita que a biomassa de peixes pode variar de 10 a mais de 50 kg por $m^3$. Alguns trabalhos relatam a biomassa de 14 a 15 kg de tilápia por $m^3$ para a produção de alface (COELHO et al., 2014; JORDAN et al., 2018; BELINTANO et al., 2020). Esta espécie tem sido o peixe mais utilizado em sistemas de aquaponia, pela sua resistência e também por ter um pacote tecnológico de cultivo já bem estabelecido.

Nos estudos realizados no campus Itacoatiara, densidades próximas de 25 kg de peixe por metro cúbico tiveram bons resultados com o tambaqui, utilizando em torno de 250 gramas de ração por dia e produzindo, em média, 40 pés de alface a cada 28 dias. De acordo com Carneiro et al. (2015), o uso de tambaqui em sistemas de aquaponia ainda está em fase experimental, contudo, alguns estudos comprovam a eficiência da densidade de 25 kg de peixe/$m^3$ (CRUZ, 2018; NAKAUTH et al., 2020).

Como a quantidade de plantas a ser produzida está diretamente ligada a quantidade de peixes, uma maneira de calcular ou estimar essa relação utiliza a quantidade de alimento fornecido diariamente aos peixes e o tamanho da área que pode ser cultivada com vegetais, considerando que os peixes consomem em torno de 1,5% do seu peso vivo em ração. Segundo a metodologia sugerida por Rakocy et al. (2006), de 60 a 100 g de ração por dia proporcionam nutrientes para cada metro quadrado de área de produção vegetal, sendo a menor concentração de nutrientes indicada para vegetais menos exigentes, como alface. Já os estudos realizados pela EMBRAPA citam em torno de 25 a 40 g de ração por dia para cada metro quadrado de vegetais produzidos (CARNEIRO et al., 2015).

## 2.2 Filtros

Para um perfeito dimensionamento do sistema ressaltamos a importância dos filtros físicos e biológicos para manter a qualidade de água com parâmetros aceitáveis à produção e realizar a transformação dos nutrientes.

Primeiramente, um decantador tem a finalidade de retirar os resíduos mais densos provenientes do sistema de produção. São várias as opções de filtros decantadores que podem ser utilizados na aquaponia, mas os mais simples são feitos com bombonas ou tanques de pequeno volume com uma válvula na base para a retirada dos sólidos decantados. Contudo, os sólidos em suspensão não são retidos pelos filtros decantadores, por isso, necessitam ser retirados do sistema por meio de um filtro de telas, peneiras finas ou *perlon*.

O filtro biológico tem a função de converter a amônia proveniente da excreção dos peixes em nitrito, que será convertido em nitrato. O nitrato é uma substância menos tóxica aos peixes e pode ser utilizado pelas plantas como fonte de nitrogênio. Bactérias chamadas *Nitrosomonasspp.*transformam a amônia em nitrito e as bactérias *Nitrobacter spp.* convertem o nitrito em nitrato. Para manter a sobrevivência das bactérias no filtro biológico é preciso proporcionar um substrato para sua fixação, que pode ser argila expandida, bioballs (feitas de PET), de cerâmica, seixo rolado, ou até mesmo cacos de tijolos ou telhas (FIGURA 5). Também é necessário fazer o monitoramento e a manutenção da qualidade da água, principalmente no que diz respeito à quantidade de oxigênio, pH perto da neutralidade, temperaturas entre 20 e 28º C e alcalinidade ótima mínima de 100 mg/L.

Plantas também são utilizadas nos filtros biológicos, como é o exemplo do papiro anão (*Cyperuspapyrus*) que, além de ter a capacidade de absorção de amônia em seu sistema radicular, oferece um ambiente propício para a sobrevivência de bactérias nitrificantes, através da forma de cabeleira de suas raízes, acelerando, assim, o processo de nitrificação (ABE et al., 1997). Outras plantas, como o agrião, o lírio do brejo (*Hedychiumcoronarium*) e a taboa (*Typhadomingensis*) também podem ser utilizadas para esse fim (HUNDLEY & NAVARRO, 2013).

Para o dimensionamento dos filtros, recomendamos a relação 3:1, ou seja, a soma dos volumes dos filtros deve ter 1/3 do volume do tanque de criação, de acordo com a forma de montagem de cada produtor.

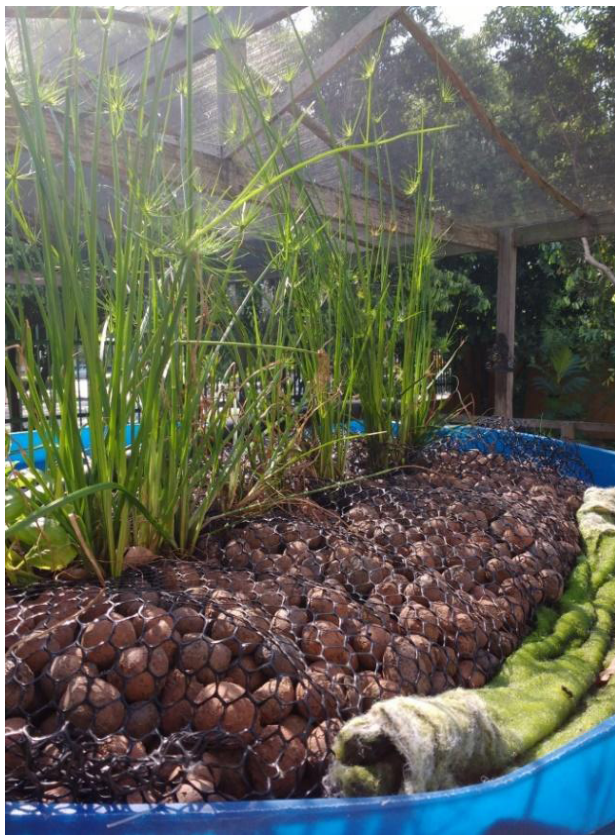



Figura 5 - Filtro biológico utilizado no sistema aquapônico instalado em uma escola em parceria com o IFAM CITA, utilizando *perlon*na entrada de água como filtro mecânico, argila expandida como substrato e mudas de papiros.

Fonte: Souza (2018).

## 2.3 Métodos de Cultivo de hortaliças

Existem na atualidade diversos métodos de produção de hortaliças utilizando o sistema aquapônico. O mais utilizado para produção em larga escala é o chamado NFT

(*NutrientFilmTechnique*), sistema utilizado na hidroponia comercial. No NFT a "solução" de água com os nutrientes dissolvidos passa em uma fina camada pelas raízes das plantas, que absorvem os nutrientes. Neste sistema, os produtores utilizam canaletas construídas com canos de PVC, bambu, telhas de fibrocimento, perfis de PVC ou metálicos, dispostas de forma a aproveitar ao máximo os espaços disponíveis e permitir a iluminação na maior parte do dia. Nesse sistema a água do tanque é bombeada para os filtros de decantação e biológico passando, em seguida pelas canaletas até retornar ao tanque. Para isso, é preciso aplicar um desnível entre 8% e 12% das canaletas no sentido do tanque de criação para permitir a passagem da água por gravidade.

Para permitir melhor iluminação ao longo do dia, a disposição das canaletas deverá ser no sentido Leste–Oeste nas regiões de clima mais amenos e na posição Norte–Sul nas regiões de clima tropical equatorial. Em locais onde a incidência luminosa e temperaturas são muito elevadas (acima de $28^{0}$C) recomenda-se o uso de sombreamento no verão, especialmente nas horas mais quentes do dia, construído com sombrite 50 a 70% e montado de forma que possa ser removido ou retirado quando desejado. Essa técnica se assemelha a utilização de cortinas.

Outra forma interessante de se utilizar a aquaponia é a adoção de bandejas flutuantes instaladas dentro de sistemas de produção aquícola já existentes. As bandejas são colocadas nos viveiros de produção de peixes e as raízes das hortaliças retiram seus nutrientes e água diretamente dos tanques. Neste sistema pode-se utilizar folhas de isopor como flutuadores ou ainda estruturas montadas com canos de PVC com malhas/telas plásticas, colocando as hortaliças diretamente nas telas. Normalmente, os tanques de criação são estruturas já estabilizadas, não havendo a necessidade de instalação de um filtro biológico, sendo que as bactérias nitrificantes podem colonizar as paredes e o fundo dos tanques de criação. Um dos inconvenientes deste sistema é a predação das raízes pelos peixes, principalmente quando se utilizam peixes com hábito alimentar onívoro ou herbívoro no sistema. Para minimizar este problema os produtores geralmente utilizam um bolsão com outra tela por baixo da estrutura que sustentará as hortaliças.

Uma terceira maneira de se produzir hortaliças no sistema de aquaponia é a técnica de "camas" de cultivo. Esse método se caracteriza pela utilização de substratos para manutenção e fixação das plantas e utilização de sifão para retirada da água que umedece as raízes. Os substratos mais utilizados são aqueles conhecidos como inertes como, por exemplo, brita, seixo, argila expandida, areia grossa ou até fibra de coco. Esses substratos são dispostos dentro de bandejas e alguns funcionam também como filtro biológico do sistema. A água do tanque de criação é bombeada para as bandejas e retorna ao sistema de produção aquícola por gravidade, fechando o ciclo.  No sistema de camas de cultivo utilizam-se sifões para retirada da água. Esses sifões são conhecidos como sifão *BELL* que, traduzindo ao português, seria chamado sino, que permitem o enchimento e o esvaziamento cíclico desse ambiente, condição importante para garantir a oxigenação constante das raízes das plantas e das colônias de bactérias.

## 2.4 Bombas

Em sistemas aquaponicospodemos utilizar diversos tipos de bombas para recalque

de água dos tanques de criação ao filtro/decantador. As mais utilizadas são as bombas submersas utilizadas em aquários. Em sistemas caseiros utilizados em pequenos sistemas poderão ser utilizadas bombas adaptadas de máquinas de lavar roupa. Em sistemas de produção comercial, bombas elétricas centrífugas externas de maior porte.

### 2.5 Aeradores

Os aeradores são importantes nos sistemas aquapônicos pois, além de promover a oxigenação dos viveiros, a utilização de aeradores favorece a retirada de partículas sólidas, que estarão sempre em movimentação nos tanques.

## 3 I MANEJO DIÁRIO DO SISTEMA

### 3.1 Qualidade de água

Alguns parâmetros da qualidade da água devem ser monitorados para manter o funcionamento do sistema e a sobrevivência dos seres vivos. Diariamente deve-se monitorar o Oxigênio Dissolvido (OD) e o pH. Semanalmente monitor-se a alcalinidade, a dureza e o nitrito. No Quadro abaixo seguem algumas informações importantes para verificação diária e semanal da água do sistema.

| Parâmetro | Faixa ótima | Quando monitorar | Como corrigir |
|---|---|---|---|
| pH | 6,0 a 8,0 | Diariamente em tanques com densidades elevadas > 25 kg/m$^3$ | Aplicação de calcário calcítico ou bicarbonato de sódio |
| Alcalinidade total | > 25 mg/L $CaCO_3$ | Semanalmente nos tanques | Aplicação de calcário calcítico ou bicarbonato de sódio |
| Dureza total | > 25 mg/L $CaCO_3$ | Semanalmente nos tanques | Aplicação de calcário dolomítico ou gesso agrícola |
| Amônia total | < 1,0 mg/L $NH_3$-$NH_4^+$ | Semanalmente ou sempre que o viveiro apresentar pH acima de 8,0 | Redução na alimentação, verificação da quantidade de mídias filtrantes e correção do pH |
| Oxigênio Dissolvido | > 4 mg/L de Oxigênio | Sempre pela manhã nas primeiras horas | Adequar a densidade e utilizar aeração |
| Nitrito | < 0,25 mg/L de nitrito | Semanalmente | Adequar a densidade e arraçoamento. Verificar a quantidade de plantas e mídias filtrantes. |

QUADRO 1 – Parâmetros da qualidade da água na aquaponia.

O pH é o principal parâmetro monitorado na criação de peixes para avaliar a acidez da água e do solo dos viveiros. Em geral, as águas na região amazônica são ácidas (pH < 7,0) porque refletem a acidez dos solos da região, mas como os peixes da região estão habituados aos níveis normalmente observados na piscicultura (pH 4,5 a 7,0), não há prejuízo ao desempenho sob estas condições. Entretanto, quando a produção de peixes é intensificada, com o uso de fertilizantes e rações, há uma grande produção de fitoplâncton (algas) que, por meio da fotossíntese, causam variações no pH da água ao longo do dia.

A grandeza destas variações é proporcional à densidade do fitoplâncton e à insolação, podendo prejudicar o desempenho e a sobrevivência dos peixes e obstruir a passagem de água pela tubulação do sistema.

A alcalinidade total representa a quantidade de bases tituláveis (bicarbonato, carbonato e hidroxila) e a dureza total representa a quantidade de íons metálicos (cálcio, magnésio e outros) presentes na água. Estes dois parâmetros fazem parte do chamado "sistema tampão" que representa uma característica química da água que confere a estabilidade do seu pH. Ou seja, quando o "sistema tampão" é atuante, as bases tituláveis e os íons metálicos criam um equilíbrio químico, prevenindo tanto o aumento quanto a redução do pH, fazendo com que este se estabeleça próximo da neutralidade (pH 7,0). Para que o "sistema tampão" possa ser atuante, tanto a alcalinidade quanto a dureza devem ser superiores a 25 mg/L $CaCO_3$, sendo ideal que estejam acima de 30 mg/L $CaCO_3$. A melhor forma de realizar esta correção é por meio da aplicação do calcário agrícola, prática conhecida como calagem.

A dosagem de calcário a ser aplicada depende essencialmente da alcalinidade total da água, devendo ainda ser corrigida caso a pureza do calcário seja baixa, conforme o QUADRO 2, a seguir.

| **Alcalinidade (mg $CaCO_3$/L)** | **Calcário Agrícola (grama/$m^2$)** |
|---|---|
| Menor que 10 | 300 a 400 |
| Entre 10 e 20 | 200 a 300 |
| Entre 20 e 30 | 100 a 200 |

QUADRO 2 – Recomendação de calagem com calcário agrícola.

* Dosagem para calcário com PRNT acima de 90%. Caso o PRNT seja menor, corrigir usando a seguinte fórmula: Dose final = Dose da tabela / PRNT(%) x 100.

O calcário agrícola pode ser aplicado diretamente na água dos tanques, mesmo quando povoado com peixes, pois sua ação é lenta e não oferece riscos à saúde dos peixes. Normalmente, o efeito pleno da calagem pode ser verificado após duas semanas da aplicação, por meio do aumento da alcalinidade e dureza da água. É fundamental lembrar que os tanques que recebem a calagem não devem receber renovação de água, salvo em situações de emergência, pois a troca da água irá remover o efeito do calcário da água.

A amônia presente na água dos viveiros de piscicultura é proveniente principalmente da excreção direta dos peixes (resultante do metabolismo da proteína) e também da decomposição da matéria orgânica (dejetos, restos de ração, adubos orgânicos). Outras fontes, menos comuns, são os fertilizantes químicos nitrogenados (ureia, sulfato de amônia, entre outros), quando aplicados nos viveiros. Uma vez presente na água, a amônia, que também é chamada de *amônia total*, pois representa a **soma** da **amônia ($NH_3$)**, que é **tóxica**, com o **amônio ($NH_4^+$)**, que é **não tóxico** aos peixes, é transformada em **nitrito ($NO_2^-$)** e depois em **nitrato ($NO_3^-$)**, que é a melhor forma aproveitada pelo fitoplâncton (algas). A transformação da amônia em nitrito e depois em nitrato é realizada por bactérias (*Nitrossomonas* e *Nitrobacter*, respectivamente), que dependem de temperatura adequada

(tropical) e da presença de oxigênio dissolvido na água.

Como a **amônia ($NH_3$)** e o **nitrito ($NO_2^-$)** são produtos **tóxicos** aos peixes, há uma preocupação quanto ao seu monitoramento e controle. Por outro lado, garantindo as condições adequadas para que as bactérias do filtro transformem a amônia ($NH_3$) em **nitrato ($NO_3^-$)**, este é rapidamente retirado da água, prevenindo a ocorrência de problemas de toxicidade aos peixes.

## 3.2 Alimentação

O que garante um bom funcionamento do sistema é a qualidade da ração. Rações com boa digestibilidade e quantidades mais altas de proteína garantem um efluente de melhor qualidade para as plantas. Contudo, a qualidade da ração deve estar de acordo com as exigências nutricionais da espécie de peixe criada. Assim, a qualidade da ração aliada a altas densidades de estocagem geram mais resíduos nitrogenados, o que proporcionaria um melhor desenvolvimento das plantas.

Portanto, além da mensuração da qualidade da água, do fornecimento diário da ração, da observação do comportamento dos peixes e do crescimento das plantas, é preciso realizar frequentemente a limpeza do sistema. Isso inclui a limpeza do filtro e descargas no decantador, além da limpeza nas camas de cultivo ou bancadas, retirando o excesso de matéria orgânica.

## REFERÊNCIAS


ABE, K.; OZAKI, Y.; KIHOU, O. Introduction of fiber plants to plant bed filter systems for waste water treatment in relation to resource recycling. *Soil Science and Plant Nutrition*, v.43, n.1, p.35-43, 1997.

ABUSIN, S. A. A; MANDIKIANA, B. W. Towards sustainable food production systems in Qatar: assessment of the viability of aquaponics. *Global Food Security*, p. 100349, 2020.

ADAMS, B.; BOYER, T.; ALBRECHT, M.; RANGLACK, D. H.; BICKFORD, N. Micro-system aquaponics: testing designs for increased productivity. *Journal of Applied Aquaculture*, v. 32, n. 2, p. 95-106, 2020.

BELINTANO, A. L. O.; KREUTZ, F. I.; MESSIAS, E. A.; IBANHEZ, J. R.; FERREIRA, M. W.; DE OLIVEIRA GUILHERME, D. Sistema de aquaponia em escada: um estudo de caso. *PUBVET*, v. 14, p. 128, 2019.

BRAZ FILHO, M. S. P. Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água. 2000. 41 f. Monografia (Relatório de Estágio)-Curso de Graduação em Qualidade em Empresas, Centro Univ. Nove de Julho, São Paulo. 2000.

BUSS, A. B.; MEURER, V. N.; AQUINI, E. N.; ALBERTON, J. V.; BARDINI, D. S.; & FRECCIA, A. Desenvolvimento da aquaponia como alternativa de produção de alimentos saudáveis em perímetro urbano. *Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 4, p. 1127-1132, 2015.

CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015a. 23p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 189), 2015.

CASTELLANI, D.; CAMARGO, A. F. M.; ABIMORAD, E. G. Aquaponics: use of the effluent from the secondary nursery of *Macrobrachium amazonicum* for the production of hydroponic lettuce (*Lactuca*

*sativa*) and watercress (*Rorippa nasturtium aquaticum*). *Bioikos*, v. 23, n. 2, p. 67-75, 2009.

COELHO, A. A. D. C.; BEZERRA, J. H. C.; SILVA, J. W. A.; MOREIRA, R. T.; ALBUQUERQUE, L. F. G.; FARIAS, W. R. L. Desempenho zootécnico de alevinos de tilápia do Nilo cultivados em um sistema de recirculação de água com a microalga *Spirulina platensis*. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 15, n. 1, p. 149-159, 2014,

CRUZ, T. S. Aquaponia: produção de capim floralta e amendoim forrageiro integrado à produção de tambaqui. 2018. 33f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Tropical) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical, Araguaína, 2018.

DELAIDE, B.; MONSEES, H.; GROSS, A.; GODDEK, S. IN: GODDEK, S.; JOYCE, A.; KOTZEN, B.; BURNELL, G. (Eds.), *Aerobic and Anaerobic Treatments for Aquaponic Sludge Reduction and Mineralisation*. Springer International Publishing, New York, pp. 247–266, 2019.

EMERENCIANO, M. G. C.; GIL, M.; PINHO, S. M.; MOLINARI, D.; BLUM, M. N. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aqüicultura. *Panorama da Aquicultura*, Rio de Janeiro, v. 147, p. 24–35, jan./fev. 2015.

HUNDLEY, G. C.; NAVARRO, R.D..Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 3, n.2, p. 52-61, 2013.

JORDAN, R. A.; GEISENHOFF, L. O.; OLIVEIRA, F. C.; SANTOS, R. C.; MARTINS, E. A. S. Yield of lettuce grown in aquaponic system using different substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 1, p. 27-31, 2018.

KODAMA, G. Viabilidade financeira em sistema de aquaponia. 2015. xii, 62 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

KUHNEN, Á. D. R.; de ARAUJO, G. M.; da SILVA, R. N.; di CAMARGO, T. S.; de Paula BARBOSA, W. W. Aquaponia como alternativa para o cultivo de peixes e hortaliças. *Blucher Engineering Proceedings*, v. 3, n. 2, p. 284-291, 2016.

LOVE, D.C.; FRY, J.P.; LI, X.; HILL, E.S.; GENELLO, L.; SEMMENS, K.; THOMPSON, R.E. Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey. *Aquaculture*, v. 435, p. 67–74, 2015.

MARENGONI, N.G. Produção de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada),cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. *Archivos de Zootecnia*, v.55, n.210, p.127-138, 2006.

MCMURTRY M. R.; SANDERS, D. C.; CURE, J. D.; HODSON, R. G.; HANING, B. C.; ST. AMAND, E. C.; Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. Journal of the World *Aquaculture Society,* v. 28, n. 4, p. 420–428, 1997.

NAKAUTH, R. F.; SAMPAIO-NAKAUTH, A. C. S. IMPLANTAÇÃO DE MÓDULO DOMÉSTICO DE AQUAPONIA. *REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM*, v. 14, n. 1, p. 31-41, 2020.

NICHOLS, M. A.; SAVIDOV, N. A. Aquaponics: Protein and vegetables for developing countries. In: *I International Symposium on Sustainable Vegetable Production in Southeast Asia,* v. 958, p. 189–93, 2011.

PAULUS, D.; DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J. A.; SOARES, T. M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. *Horticultura Brasileira*, v. 28, n. 1, p. 29–35, 2010.

RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER. M. P. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics: integrating fish and plant culture. *Aquaculture Center Publications*, n. 454, p. 1-7, 2006.

RAKOCY, James. Ten guidelines for aquaponic systems. *Aquaponics Journal*, v. 46, p. 14-17, 2007.

SOARES, Emerson Carlos. et al. Peixe com salada! Aquaponia possibilita o cultivo de peixes e alfaces sem agrotóxico. *Panorama da Aquicultura*, n. 148, p. 24–29, 2015.

SOUZA, R. T. Y. B. Formação continuada de professores de ciências utilizando a Aquaponia como ferramenta didática. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 25, n. 2, p. 395-410, 2019.

TIMMONS, M.; EBELING, J. *Recirculating Aquaculture,* Cayuga Aqua Ventures:Itaca, NY, USA (948 pp), 2007.

# CAPÍTULO 4

# PRODUÇÃO DE OSTRAS NATIVAS NA AMAZÔNIA: SOLUÇÕES EM BUSCA DA SUSTENTABILIDADE

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Thiago Dias Trombeta**
Universidade de Brasília
Brasília, Distrito Federal
https://orcid.org/0000-0001-5691-4141

**Dioniso de Souza Sampaio**
Universidade Federal do Pará
Bragança, Pará
https://orcid.org/0000-0002-2688-6001

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo abordar os aspectos de sustentabilidade da produção de ostras na Amazônia, a qual é realizada no Nordeste Paraense, em cinco municípios, onde participam sete associações de produtores e 84 famílias, organizados em rede. A cadeia produtiva é composta pelas etapas de captação de sementes em ambiente natural, engorda, colheita e comercialização. A produção é realizada por produtores familiares sem auxílio de mecanização. As atividades de manejo necessárias são:povoamento; classificação;limpezas e manutenção das estruturas. O ciclo de produção para ostra “baby” (60 a 79 mm) é de 6 a 8 meses e para a ostra média (80 a 100 mm) de 8 a 10 meses. A ostreicultura na Amazônia contribui na geração de renda de comunidades garantindo lucratividade aos produtores e fortalecendoo crescimento sustentável da atividade para os próximos anos.As principais ações para a consolidação e crescimento da ostreicultura necessita de uma estratégia transversal na cadeia produtiva, considerando os seguintes pilares: Acesso a Novos Mercados; Segurança Sanitária; Apoio a Competitividade; Pesquisa e Inovação; Divulgação e Comunicação; Financiamento; Formação e Capacitação; Governança e Cooperação; Parcerias com o Setor Privado; Infraestrutura e Investimentos; Preservação dos bancos naturais de ostras.

**PALAVRAS-CHAVE**: bivalves, aquicultura, manejo produtivo, mercado.

## PRODUCTION OF NATIVE OYSTERS IN THE AMAZON: SOLUTIONS IN SEARCH OF SUSTAINABILITY

**ABSTRACT:** This paper aims to address the sustainability aspects of oyster production in the Amazon, which is carried out in the Northeast of Pará, in five municipalities, where it participates in seven activities of producers and 84 families, organized in a network. A production chain consists of the stages of capturing seeds in the natural environment, fattening, harvesting and marketing. Production is carried out by family farmers without theaid of mechanization. The necessary management activities are: population; classification; cleaning and maintenance of structures. The production cycle for “baby” oysters (60 to 79 mm) is 6 to 8 months and for the “máster” oyster (80 to 100 mm) 8 to 10 months. Oyster farming in the Amazon contributes to the generation of income for communities authorized to generate and strengthen the sustainable growth of the activity for the coming years. As the main actions for the development and growth of oyster farming, using a transversal strategy in the production chain, considering the following pillars: Access to New Markets; Health Security; Competitiveness support; Research and Innovation; Disclosure and Communication; Financing; Training and Capacity Building; Governance and Cooperation; Partnerships with the Private Sector; Infrastructure

and Investments; Preservation of natural oyster banks.

**KEYWORDS:** bivalves, aquaculture, productive management, market.

## 1 I INTRODUÇÃO

A principal característica de uma produção sustentável é que se assume que a natureza é finita, descartando o crescimento sem limites, característico da economia clássica. Além disso, se assume também o compromisso de que cada geração tem o dever de deixar para a próxima, uma quantidade de recursos naturais, equivalente àquela que recebeu. Esta definição, apresentada na Agenda 21(da qual o Brasil é signatário) pode ser considerada universal e vem sendo adaptada pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) e outros órgãos internacionais para vários setores produtivos (VALENTI *et al*,2010; SAMPAIO & BOULHOSA, 2017).

Assim, aquicultura sustentável pode ser definida como a produção lucrativa de organismos aquáticos, mantendo uma interação harmônica com os ecossistemas e as comunidades locais. No caso do cultivo de organismos no mar e no estuário (maricultura), para que sejam seguidos os princípios da sustentabilidade, ela deve estar baseada na produção lucrativa, na preservação ambiental e no desenvolvimento social (VALENTI, 2002; 2008; SAMPAIO & BOULHOSA, 2017).

A ostreicultura no Pará teve início por meio da criação de um projeto de pesquisa e extensão denominado “Moluscos bivalves”, nos municípios de Augusto Corrêa e Maracanã. Entre as instituições que estavam à frente dessa iniciativa participaram o Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM), a Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Pará (SECTAM) e a Escola Agrotécnica Federal de Castanhal (EFAC), além das prefeituras municipais (Brabo et al., 2016). Mais tarde, em 2005 o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa do Pará (SEBRAE/PA) e entidades parceiras promoveram uma missão técnica de ostreicultores de Nova Olinda, dentre outros municípios interessados, até o Estado da Bahia, com o objetivo de proporcionar aos seus participantes, conhecimentos e técnicas que seriam adquiridas por meio de visitas *in loco* **(**SAMPAIO & BOULHOSA, 2017**).**

No Estado do Pará a atividade do Cultivo de Ostras (ostreicultura) é desenvolvida desde 2006 em sete associações registradas no Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) em cinco municípios: Associação dos Agricultores e Aquicultores de Nova Olinda (AGROMAR) no município de Augusto Corrêa; Associação dos Aquicultores, Produtores Rurais e Pescadores de Nazaré do Seco (AAPPNS) no município de Maracanã; Associação de Aquicultores da Vila de Lauro Sodré (AQUAVILA) e Associação Agropesqueira de Nazaré de Mocajuba (AGRONAM) no município de Curuçá; Associação dos Agricultores e Aquicultores de Santo Antônio de Urindeua (ASAPAQ) no município de Salinópolis; Associação de Mulheres na Pesca e Agricultura de Pererú (AMPAP) e a Associação dos Produtores de Ostras de Pererú de Fátima (ASSOPEF) no município de São Caetano de Odivelas, Pará (SAMPAIO & BOULHOSA, 2007; HOSHINO, 2009; BRABO *et al*, 2016; MACEDO *et al*, 2016; SAMPAIO *et al*, 2019) (Figura 1).

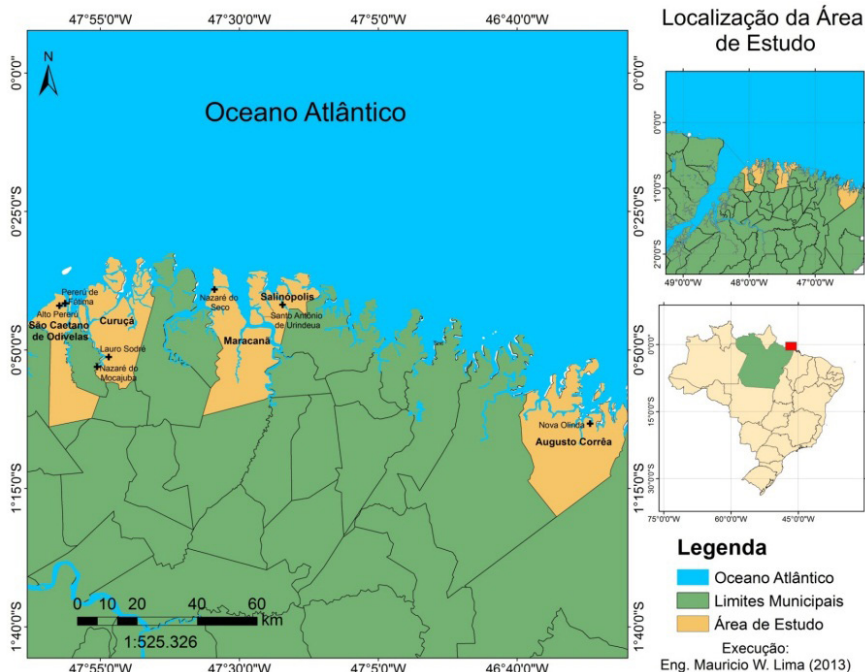



Figura 01. Localização dos cultivos de ostras no Nordeste Paraense. Fonte: Maurício Lima (2013).

A área de abrangência dos cultivos de ostras no Estado do Pará é a Mesorregião do Nordeste Paraense que representa 6,7% da área do Estado do Pará, com uma área de 83.182,6 km$^2$ e uma população de 1.473 mil habitantes, correspondendo a 23,8% da população estadual (IBGE, 2013).

Atualmente, a ostreicultura paraense vem se tornando uma alternativa de geração de renda para aproximadamente 84 famílias(SEBRAE, 2017). A produção vem aumentando nos últimos anos, apesar do significativo tempo em que a atividade é exercida nessas comunidades litorâneas, a produção de ostras do Estado do Pará foi contabilizada nas estatísticas oficiais pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apenas em 2013, quando totalizou 8.250kg nos municípios de Curuçá e São Caetano de Odivelas. Em 2018, a cadeia produtiva da ostreicultura através dos municípios de Augusto Corrêa; Salinópolis; Curuçá e São Caetano de Odivelas produziu 39.850kg (IBGE, 2014;2019).Com essa produção o Estado do Pará ocupa a 6ª posição no Brasil no cultivo de ostras.

O cultivo de ostras da associação AGROMAR na comunidade de Nova Olinda no município de Augusto Corrêa produziu em 2018, 25.450 kg. Assim, 64% da produção do Estado do Pará vêm do município de Augusto Corrêa (IBGE, 2019) (Figura 02).

Figura 02. Visão aérea do cultivo de ostras da Agromar em Nova Olinda, Augusto Corrêa, PA.
Fonte: Imagem em movimento, Flávio Contente (2017).

## 2 I ORGANIZAÇÃO DOS PRODUTORES EM REDE

Em 2009, o SEBRAE/PA incentivou a criação da Rede Nossa Pérola com o objetivo de organizar as associações de produtores para elaborar, compartilhar e padronizar estratégias de trabalho, visando o desenvolvimento uniforme e sustentável da ostreicultura paraense. A rede promove reuniões bimensais em diferentes municípios (SAMPAIO & BEASLEY, 2017; SOUZA, 2019).

Além do Sebrae, a atividade conta com o apoio de diversas instituições, como Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará - Adepará, Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca - SEDAP, Prefeituras Municipais, Universidade e Instituto Federal do Pará (UFPA e IFPA), Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará – EMATER e Al-Invest 5.0 (SOUZA, 2019).

As principais ações descritas por (SOUZA, 2019) junto às associações de produtores por meio da Rede Nossa Pérola são: Capacitações para profissionalização dos produtores; Encontros Estaduais de Produtores de Ostras da Amazônia; Inovação e marketing com foco em Inteligência de Mercado; Convênio de Cooperação Técnica e Financeira (2009) - firmado entre Sebrae,Secretaria de Estado de Pesca e Aquicultura –SEPAQ (atualmente SEDAP) e Ministério da Pesca (atualmente SAP/MAPA); Regularização dos produtores; Regularização ambiental dos cultivos com a dispensa de licença ambiental; Autorização direta para os cultivos em área de reservas extrativistas;Regularização da atividade de ostreicultura no Estado do Pará, pela Adepará.

A rede nossa pérola representa um exemplo positivo de modelo de gestão inovadora qual deve inspirar outras regiões do país, sobretudo em produções de pequena escala, proporcionando uma estrutura sólida de governança entre os atores e instituições.

## 3 I PROCESSO PRODUTIVO

### 3.1 Coleta de sementes

A viabilidade na coleta de sementes em ambiente natural está diretamente relacionada com as características ambientais dos estuários. Nos manguezais do Pará há confluências com diversos cursos de água doce, além da influência direta de água marinha, que aliado à presença de grandes estoques naturais de ostras nativas, torna a região a principal fonte de sementes de ostras obtidas naturalmente por meio de coletores artificiais no ambiente do País (CAMPOS, 2011).

A região produtora das sementes de ostras no Estado do Pará está localizada no estuário do rio Mocajuba e seus afluentes, principalmente no município de Curuçá/PA. As sementes obtidas por meio dos coletores artificiais são oriundas das comunidades de Lauro Sodré e Nazaré de Mocajuba.Segundo o IBGE (2019), o Pará produziu 2.500 milheiros de sementes em 2018 do município de Curuçá e São João de Pirabas (Figura 3).

Figura 3. Imagem em baixa-mar do sementeiro da Associação de Aquicultores da Vila de Lauro Sodré (A) e da Associação Agropesqueira de Nazaré de Mocajuba (B) ambas localizadas no município de Curuçá/PA.Fonte: Rui Trombeta (2015).

**Preparação e instalação das estruturas:** O sementeiro, como é denominado a área de coleta de sementes é formado por um conjunto de traves com cerca de dois metros de comprimento no qual são instalados 20 coletores de garrafas plásticas. Essa estrutura é capaz de coletar entre quatro a seis mil sementes por ciclo.

O início do ciclo de produção de sementes no Pará é normalmente iniciado entre os meses de julho e agosto, na transição das estações de chuva/seca. No entanto, o fator monitorado que indica quando os coletores devem ser instalados na água é a variação da salinidade do local que possui forte influência do volume de chuva ocorrido no período de inverno.

A instalação dos coletores é realizada quando há um aumento gradual, indicando o início da transição da estação chuvosa para seca.

Os coletores são instalados na trave, que por sua vez é apoiada e amarrada nas extremidades do barrote (enterrado no solo).

**Monitoramento da fixação e colheita:** Os produtores monitoram constantemente

a fixação de larvas nos coletores. Geralmente, a colheita de sementes acontece a cada 45 dias após a instalação dos coletores, desde que sejam instalados no momento correto. Durante uma temporada de captação de sementes ocorrem entre quatro a cinco colheitas, entre os meses de agosto a dezembro, podendo atrasar conforme as condições de pluviosidade na região.

**Manejo de classificação das sementes:** É uma operação que exige cuidados na manipulação, pois as conchas podem facilmente se quebrar.As telas utilizadas para a classificação são de três malhas: 9 mm (separa pré-sementes de sementes e juvenis), 14 mm (separa sementes de juvenis I) e 21 mm: (separa juvenis I de juvenis II).O transporte das sementes é realizado em caixas isotérmicas, evitando o aumento interno de temperatura (Figura 4).

Figura 4. Manejo de classificação das sementes na AQUAVILA em Lauro Sodré, Curuçá, Pará. Onde: (A) Ostreicultor realizando a classificação; (B) Medida utilizada para contagem das sementes; (C) Exemplar de uma semente C. gasar com 2,5 cm. Fonte: Thiago Trombeta (2017).

## 3.2 Manejo e Engorda

As tecnologias de produção, tanto para a engorda quanto para a captação de sementes, são ajustadas conforme as condições ambientais da região amazônica, que tem características específicas como uma amplitude de maré de até 8 metros, o que exige atenção na instalação e seleção dos materiais a serem utilizados.

O modelo de criação predominantemente utilizado no Pará é o de mesa fixa com travesseiro em polietileno, no padrão de 9 metros de comprimento por 80 centímetros de largura. A madeira utilizada nas varas/barrotes normalmente é o bambu, devido à disponibilidade e facilidade de obtenção na região, embora possua baixa vida útil. Outros tipos de materiais com vida útil maior vêm sendo utilizado por alguns produtores, como por exemplo, o cano de PVC(Reis et al., 2020)(Figura 5).

As mesas são instaladas considerando um espancamento mínimo de um metro entre elas, visto que pode acelerar o processo de sedimentação da área de cultivo.

Figura 5. Sistema de cultivo fixo com mesas e travesseiros, utilizado como modelo de produção padrão nas associações de produtores de ostras do Pará. Fonte: Rui Trombeta (2015).

O ciclo de produção para ostra “baby” (60 a 79 mm) é de 6 a 8 meses e para a ostra média (80 a 100 mm) de 8 a 10 meses (SAMPAIO *et al*, 2019).

O manejo das ostras é constituído pelas seguintes operações:

- Povoamento
- Classificação;
- Limpezas;
- Manutenção das estruturas

**Povoamento:** É influenciado pela disponibilidade de sementes e das condições ambientais dos ambientes de engorda. A quantidade de povoamentos ao ano e as épocas em que são realizados são fatores importantes no planejamento da atividade de engorda de ostras.

O povoamento dos cultivos de ostras do Pará é feito colocando as sementes nos travesseiros com as malhas iniciais (Quadro 1) e se inicia a partir de agosto/setembro, onde começa a oferta de sementes pelos grupos de produtores.

**Classificação**: As técnicas de manejo e a frequência que é realizada estão diretamente relacionadas com os indicadores zootécnicos de produção e tem como objetivo adequar as densidades de estocagem para favorecer um melhor crescimento das ostras.

No cultivo de ostras as densidades variam de acordo com as fases de desenvolvimento (pré-semente, semente, juvenil, baby, média e master) e, são classificadas por diferentes tamanhos. No Pará, os produtores, por meio da Rede Nossa Pérola padronizaram a classificação conforme o Quadro 1.

| Fase | Tamanho | Densidade média* | Malha do travesseiro |
|---|---|---|---|
| Pré-semente | Até 9 mm | 3000 a 4000 | 5 mm |
| Semente | 10 a 29 mm | 2000 a 3000 | 9 mm |
| Juvenil | 30 a 59 mm | 1000 a 1500 | 14 mm |
| Baby | 60 a 79 mm | 80 a 100 | 21 mm |
| Média | 80 a 100 mm | 50 a 70 | 21 mm |
| Master | Acima 100 mm | 30 a 50 | 21 mm |

Quadro 1.Organização produtiva utilizada pelos ostreicultores.

Fonte: Protocolos de produção - Rede Nossa Pérola e Sebrae/PA, 2017 (modificado). *considerando um travesseiro padrão de 50 cm X 100 cm.

**Limpeza**: Nos meses de maio e junho são os meses com maior volume de chuvas na região, devido a isso as estruturas de cultivo possuem maior acúmulo de incrustações e lama. A limpeza das estruturas é realizada manualmente com auxílio de espátulas e escovas.Para melhor eficiência na limpeza também é recomendável à utilização de moto-bomba.

**Manutenção das estruturas:** Constantemente são realizadas perícias nas estruturas para verificar as amarrações, rasgos nos travesseiros e quebras das estruturas, sendo necessário o reparo imediato (Figura 6).

Figura 6. Cultivo de ostras em baixa-mar da AGROMAR, em Nova Olinda, Augusto Correa, Pará. Onde: (A) Sistema fixo de cultivo fixo tipo mesa; (B) Sistema flutuante com travesseiros; (C) Estrutura de apoio e vigilância aos produtores; (D) Ostreicultor realizando operações de manejo em seu modulo de produção. Fonte: Thiago Trombeta (2015).

## 3.3 Colheita e comercialização

No processo de colheita a primeira operação a ser realizada é a lavagem das ostras no próprio ambiente de produção e tem como objetivo remover as incrustações, lama e resíduos orgânicos.

Devido à comercialização ser realizada diretamente aos consumidores e

restaurantes principalmente em Belém, Salinópolis e Braganca é importante ter cuidados pois no processo de pós-colheita pode haver perda de qualidade e contaminação das ostras (ÁLVARES et al, 2008; PEREIRA, 2003).

As principais medidas e recomendações a serem adotadas nas operações pós-colheita são (OGAWA e MAIA, 1999; GONÇALVES, 2011):

- Uso de caixas isotérmicas no transporte;
- Evitar a exposição direta e prolongada ao sol;
- Cuidado higiênico-sanitário ao manusear as ostras com as mãos;
- Uso de gelo ou refrigeração para conservar as ostras;
- Controle de tempo no armazenamento.

## 4 I INOVAÇÃO COM SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO

Uma inovação de destaque realizada no cultivo da AGROMAR, em Nova Olinda, foi o sistema flutuante tipo *longline* com travesseiros inspirado nos cultivos de ostras em Santa Catarina, que utilizam lanternas (Pereira et al., 1998).Cada sistema longline é constituído por duas poitas de 700kg em cada extremidade a fim de estabilizar a estrutura em situações com amplitudes de maré que alcançam 8 metros em determinadas épocas do ano.

Cada longline sustenta 5 mesas de PVC flutuantes, onde cada mesa possui 6 metros de comprimento por 0,85m de largura com capacidade produtiva total 70 travesseiros de engorda em cada longline. Atualmente existem em funcionamento 12 sistema longlines (Reis et al., 2020) (Figura 7).

A B

Figura 7. Sistema flutuante tipo longline com travesseiros adaptado pelo ostreicultor Sr. Miguel Reis da AGROMAR. Onde: (A) Boias de flutuação. Fonte: Imagem em movimento, Flávio Contente (2017).(B) Estrutura para amarração dos travesseiros. Fonte: Dioniso Sampaio (2017).

Para desenvolver práticas de sustentabilidade é fundamental diversificar as estruturas de produção na ostreicultura uma vez que evita a sedimentação proporcionada pelas estruturas fixas, além de evitar o excesso no uso de madeira e bambus. Outras inovações feitas pelos produtores foram à mesa de concreto e a mesa telada (Figura 8).

Figura 8. Inovações nas estruturas de produção. Onde: (A) Mesa construída em concreto e PVC substituindo o uso de bambu e madeira para aumentar a vida útil. (B) Mesa telada utilizada na fase de engorda para facilitar o manejo.Fonte: Rui Trombeta (2015).

## 5 | PERSPECTIVAS FUTURAS

A ostreicultura na Amazônia caminha para se consolidar como uma atividade que obedece aos preceitos da sustentabilidade que une o desenvolvimento econômico das comunidades locais com respeito ao meio ambiente, geração de renda e inclusão social.

É importante imaginar a atividade de forma estratégica segmentando os elos da cadeia produtiva (produção, beneficiamento e comercialização), nesse sentido, o conhecimento de quase duas décadas aliado as técnicas de produção e pesquisas desenvolvidas e a organização dos grupos de produtores com a Rede Nossa Pérola apoiada pelo SEBRAE/PA estrutura uma base sólida no elo produtivo que, nesse momento, necessita de ações para agregar valor à produção e criar canais de comercialização que propicie o comércio justo.

O cooperativismo e a integração precisam ser implementados na ostreicultura da Amazônia. Ambas as modalidades possuem um "controle" central que poderia liderar o elo do beneficiamento das ostras, elaborando-se novos produtos, além da tradicional ostra "*in natura*" e principalmente obtendo o registro no serviço de inspeção o que traria a possibilidade de comercializar a produção em canais de comercialização mais exigentes que remuneram melhoros produtores e que haja uma demanda constante.

No caso do cooperativismo os produtores são sócios e possuem uma maior participação no negócio, além de realizarem as atividades de produção. Por outro lado, são susceptíveis aos riscos e volatilidades do mercado. Essa modalidade exige profissionalização dos produtores e grande apoio institucional, sobretudo com recursos financeiros para a construção de uma estrutura de beneficiamento de acordo com o RIISPOA (Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Origem Animal).

No sistema de integração é necessário o envolvimento de empresas interessadas no negócio e para isso o segmento deve proporcionar segurança jurídica, sanitária e garantia de fornecimento da matéria-prima. Nessa modalidade, a empresa integradora é

responsável por garantir a compra da produção e pode auxiliar os produtores em suas demandas, por meio de assistência técnica e aquisição de materiais e equipamentos. Os riscos aos produtores no sistema de integração são menores e os acordos são firmados em contrato.

Entretanto um dos maiores entraves existentes no Estado do Pará para o desenvolvimento da ostreicultura é a falta de um programa de monitoramento sanitário de moluscos bivalves como preconiza a Instrução Normativa Interministerial nº 7, de 8 de maio de 2012, a qual institui o Programa Nacional de Controle Higiênico-Sanitário de Moluscos Bivalves (PNCMB), necessitando para isso de investimentos do poder público no setor e o envolvimento de instituições. Para a implementação do PCNMB é fundamental o credenciamento de laboratório junto ao MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) para a realização de análises específicas e coletas de amostras de moluscos bivalves, conforme determinam as portarias MPA nº 204 de 28 de junho de 2012 e ADEPARÁ nº 3036 de 01 de agosto de 2017.

As principais ações para a consolidação e crescimento da ostreicultura na Amazônia necessita de uma estratégia transversal na cadeia produtiva, contendo os seguintes temas e reflexões:

A. **Acesso a Novos Mercados:** ações de marketing, certificação, comércio justo, abertura de novos canais de comercialização e estímulo aos negócios.

B. **Segurança Sanitária:**implementar o PCNMB criando condições de obter os selos do serviço de inspeção municipal, estadual e federal (SIM, SIE e SIF) de maneira a implementar o beneficiamento de moluscos considerando o monitoramento microbiológico, viral e de biotoxinas das áreas de produção, além de incentivar a depuração a fim de garantir a inocuidade dos produtos.

C. **Apoio a Competitividade**: ações direcionadas majoritariamente ao poder público e instituições apoiadoras para promoção da competitividade local e sustentabilidade por meio de inserção de tecnologia e/ou técnicas que promovam melhorias dos aspectos produtivos para ganho de volume e escala.

D. **Pesquisa e Inovação:** investimentos financeiros em pesquisas aplicadas aos problemas do segmento como o monitoramento da qualidade da água das áreas de produção, aproveitamento dos resíduos (concha) das ostras (economia circular), desenvolvimento de novos produtos como conservas e enlatados de ostras, estudos com novas estruturas, mecanização do processo produtivo e boas práticas produtivas de sustentabilidade.

E. **Divulgação e Comunicação**: promoção comercial da ostra da Amazônia em âmbito local, regional e nacional, incluindo iniciativas como feiras, rodadas de negócios, missões comerciais, organização de stands, desenvolvimento de *websites*, elaboração de materiais de divulgação, publicidade e mídia.

F. **Financiamento:**incentivo ao financiamento de recursos para os produtores considerando as particularidades de cada associação com o objetivo de renovar e modernização as estruturas de produção, ampliação das áreas de produção,

aumento da capacidade produtiva e capital de giro.

G. **Formação e Capacitação:** ações voltadas à formação de novos produtores e reciclagem dos atuais quanto à temas técnicos, gerenciais e voltados ao empreendedorismo, cooperativismo e sustentabilidade.

H. **Governança e Cooperação:** ações voltadas para o estabelecimento e fortalecimento da governança local, bem como iniciativas que promovam a cooperação entre os diversos agentes e instituições apoiadoras que compõem o negócio da ostreicultura. Fortalecimento e liderança dos produtores frente à Rede Nossa Perola e incentivo ao cooperativismo.

I. **Parcerias com o Setor Privado:** criar ambiente favorável a parcerias e negociações com o setor provado, sobretudo junto a unidades de beneficiamento e empresas processadoras de pescado visando implementar sistema de integração entre empresa e associações de produtores, considerado o comércio justo.

J. **Infraestrutura e Investimentos:** ações direcionadas ao desenvolvimento de infraestrutura, sobretudo para a construção de unidade de beneficiamento e estrutura de comercialização e logística, além de recursos destinados para ampliação e modernização das estruturas de cultivo nas associações.

K. **Preservação dos bancos naturais de ostras:** ações eficazes para preservação dos bancos naturais de ostras nos locais de captação de sementes com o objetivo de coibir o extrativismo visto que é um dos pilares que sustentam a atividade e promove a sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS


ÁLVARES, P.P.; MARTINS, L.; BORGHOFF, T.; SILVA, W.A.; ABREU, T.Q.; GONCALVES, F.B. (2008). Análise das características higiênicos sanitárias e microbiológicas de pescado comercializado na grande São Paulo. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v.22, n.161, p.88-93.

BRABO, M. F., PEREIRA, L. F. S., FERREIRA, L. A., COSTA, J. W. P., CAMPELO, D. A. V., & VERAS, G. C.(2016). A cadeia produtiva da aquicultura no Nordeste paraense, Amazônia, Brasil. **Informações econômicas**, *46*(4), 16-26.

CAMPOS, O. T. L. A. (2011). Ostreicultura no Município de Curuçá: Uma Alternativa para o Desenvolvimento Local.**Dissertação de Mestrado** do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local–PPGDAM/UFPA, Belém–Pará, 2011.

GONÇALVES, A. A. (2011). Ciência, tecnologia, inovação e legislação. São Paulo: EditoraAtheneu.

HOSHINO, P. (2009). Avaliação e comparação de projetos comunitários de ostreicultura localizados no nordeste paraense. **Dissertação de Mestrado** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará. Belém, 99p.

IBGE (2014). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Prod. da Pecuária Municipal em 2013. Vol. 41.

IBGE (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Prod. da Pecuária Municipal em 2018. Vol.46.

MACEDO, A.R.G.; SILVA, F.L.; RIBEIRO, S.C.A.; TORRES, M.F.; SILVA, F.N.L.;MEDEIROS, L.R. (2016). Perfil da Ostreicultura na comunidade de Santo Antônio doUrindeua, Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana***,* Brasil.

MORGADO, E.M. (2011). Inovação, novos conceitos ampliados – Oportunidades para empresas. **Revista de CiênciasGerenciais**. Vol. 15, número 21. p. 225-235.

OECD (2005). *The Measurement of Scientific and Technological Activities: Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation.* Traduzido em 2004 sob a responsabilidade da FINEP — Financiadora de Estudos e Projetos. 136p.

OGAWA, M.; MAIA, E. L. (1999). Manual de Pesca – Ciência e Tecnologia do Pescado, São Paulo: Livraria Varela, 430 p.

PEREIRA, C. S. (2003). A cultura de mexilhões na Baía de Guanabara e suas implicações para a Saúde Pública – Contexto político-social e microbiológico. (**Tese de doutorado em Saúde Pública**) Rio de Janeiro: ENSP.

PEREIRA, O.M.; HENRIQUES, M.B. e FAGUNDES, L. (1998). Viabilidade de Criação de Ostra *Crassostrea gigas* no litoral das regiões sudeste e sul do Brasil. **Informações Econômicas**, SP, v. 28, n.8.

REIS, R.S.C.; BRABO, M.F.; RODRIGUES, R.P.; CAMPELO, D.A.V.; VERAS, G.C.; SANTOS, M.A.S. e BEZERRA, A. S. (2020). Aspectos socioeconômicos e produtivos de um empreendimento comunitário de ostreicultura em uma reserva extrativista marinha no Litoral Amazônico, Pará, Brasil**. International Journal of Development Research** Vol. 10, Issue, 04, pp. 35072-35077.

SAMPAIO, D.S. e BOULHOSA, R.L.M. (2007). Energia que vem da ostra: do extrativismo para o cultivo.In: Histórias de Sucesso: Agronegócios - Aquicultura e Pesca, DUARTE, R.B.A (Ed.) Brasília, p. 143-160.

SAMPAIO, D.S. e BEASLEY, C.R. (2017). No ritmo da maré – Cultivos de Ostras no Nordeste Paraense. *Ensaio fotográfico*. Acessado em julho de 2020. https://www.periodicos.ufpa.br/index.php/amazonica/article/view/5504/4589 Amazônica: Revista de Antropologia. (Online) 9 (1):504-578.

SAMPAIO, D.S.; TAGLIARO, C.H.; SCHNEIDER, H.; BEASLEY, C.R. (2019). Oyster culture on the Amazon mangrove coast: asymmetries and advances in emerging sector. **Reviews in Aquaculture** (2019) 11, 88-104. doi: 10.1111/raq.12227.

SOUZA, A.C.A. (2019). Ostras da Amazônia: Uma oportunidade de negócio sustentável.**Aquaculture Brasil**, 17ª edição.

UNIEMP (2010). Inovação Uniemp. v.3. número 4. Campinas. Julho/Agosto de 2007.

VALENTI, W. C. (2002). Aquicultura sustentável. In: **Congresso de Zootecnia**, 12o, 2002. Vila Real, Portugal. Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos. Anais, p.111-118.

VALENTI, W.C. (2008). A aqüicultura Brasileira é sustentável? In: **Aqüicultura & Pesca**, Ed. DIPEMAR, 34(4) p.36-44.

VALENTI, W.C.; KIMPARA, J.M.; ZAJDBAND, A.D. (2010).Métodos para medir a sustentabilidade da aquicultura. **Panorama da Aquicultura**, 20:28-33.

# ECONOMIA AQUÍCOLA:
## Bases para o desenvolvimento técnico e econômico

# SEÇÃO B

# CAPÍTULO 5

# AQUICULTURA NO ESTADO DO PARÁ: FATORES LIMITANTES E ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Marcos Ferreira Brabo**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
https://orcid.org/0000-0001-8179-9886

**Renato Pinheiro Rodrigues**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
https://orcid.org/0000-0003-2596-2807

**Marcos Antônio Souza dos Santos**
Universidade Federal Rural da Amazônia
Belém – Pará
https://orcid.org/0000-0003-1028-1515

**Antônia do Socorro Pena da Gama**
Universidade Federal do Oeste do Pará
Santarém – Pará
http://lattes.cnpq.br/0557401045324442

**Antônio José Mota Bentes**
Sociedade para a Pesquisa e Proteção do Meio Ambiente
Santarém – Pará
http://lattes.cnpq.br/6206646040093813

**David Gibbs McGrath**
Universidade Federal do Oeste do Pará
Santarém – Pará
http://lattes.cnpq.br/4373475491613670

**RESUMO:** Este estudo teve o objetivo de apresentar o cenário atual daaquicultura no estado do Pará, destacando particularidades regionais, fatores limitantes e estratégias para o seu desenvolvimento. A coleta de dados ocorreu em maio de 2020, com levantamento em órgãos governamentais e organizações sociais do setor, assim como realização de entrevistas com atores sociais das cadeias produtivas. Constatou-se que a aquicultura estadual está baseada em três atividades: piscicultura continental, ostreicultura e carcinicultura marinha. A criação de peixes é difundida por todo o seu território, predominantemente em empreendimentos de pequeno porte e conta com o tambaqui *Colossoma macropomum* e o híbrido tambatinga como principais espécies. Quanto à ostreicultura, a ostra nativa *Crassostrea gasar* é a única produzida nas sete iniciativas em operação, que se encontram distribuídas em cinco municípios litorâneos. A carcinicultura é o ramo que contribui com a parcela menos significativa da produção aquícola e possui o menor número de empreendimentos, estando restrita a apenas dois municípios. Neste contexto, a comercialização é estritamente local e está distante de atender a demanda, o que determina a participação paraense no mercado brasileiro de pescado oriundo da aquicultura na condição de comprador, inclusive de peixes redondos e camarão cinza *Penaeus vannamei*, espécies protagonistas em suas atividades no cenário estadual. Para o seu desenvolvimento, a revisão dos marcos regulatórios representa a principal prioridade em termos de políticas públicas, seguida de ações governamentais capazes de viabilizar rações a preços mais acessíveis no mercado local. Na iniciativa privada, o fortalecimento da organização social e o incremento da cooperação entre os atores sociais são as ações mais importantes a serem implementadas ou aperfeiçoadas na busca por competitividade.

**PALAVRAS-CHAVE**: Carcinicultura marinha;

Competitividade; Ostreicultura; Piscicultura continental; Políticas públicas.

## AQUACULTURE IN THE PARÁ STATE: LIMITING FACTORS AND STRATEGIES FOR DEVELOPMENT.

**ABSTRACT:** This study aimed to present the current aquaculture scenario in the state of Pará, highlighting regional particularities, limiting factors and strategies for its development. Data collection took place in May 2020, with surveys by government agencies and social organizations in the sector, as well as interviews with social actors in the production chains. It was found that state aquaculture is based on three activities: continental fish farming, oyster farming and marine shrimp farming. Fish farming is widespread throughout its territory, predominantly in small enterprises and has the tambaqui Colossoma macropomum and the tambatinga hybrid as the main species. As for ostreiculture, the native oyster *Crassostrea gasar* is the only one produced in the seven initiatives in operation, which are distributed in five coastal municipalities. Shrimp farming is the branch that contributes the least significant portion of aquaculture production and has the least number of enterprises, being restricted to only two municipalities. In this context, marketing is strictly local and is far from meeting demand, which determines Pará's participation in the Brazilian fish market from aquaculture as a buyer, including round fish and gray shrimp *Penaeus vannamei*, leading species in its activities. in the state scenario. For its development, the revision of the regulatory frameworks represents the main priority in terms of public policies, followed by government actions capable of making rations more affordable at the local market. In the private sector, strengthening social organization and increasing cooperation between social actors are the most important actions to be implemented or improved in the search for competitiveness.

**KEYWORDS:** Marine shrimp farming; Competitiveness; Ostreiculture; Continental fish farming; Public policy.

## 1 I INTRODUÇÃO

Os quelônios são importantes para as comunidades ribeirinhas, pois constituem fonte de proteína alternativa ao pescado para subsistência, sendo o consumo de sua carne e seus ovos parte da culinária amazônica (ANDRADE, 2017). Mas seu uso de forma predatória os levou à ameaça de extinção. Graças a projetos como o Programa Pé-de-pincha da UFAM, comunidades ribeirinhas têm ajudado na recuperação das populações de quelônios, atuando na cogestão do manejo comunitário conservacionista de ninhos e filhotes (ANDRADE, 2017; LIMA *et al.*, 2017; BALESTRA *et al.*, 2016).

O termo genérico aquicultura ou aquacultura designa o conjunto de atividades de criação e cultivo de organismos aquáticos, com finalidade de atendimento de necessidades humanas ou de recomposição ambiental. Este ramo da agropecuária representa a alternativa mais viável para suprir a crescente demanda mundial por pescado para alimentação, dada a impossibilidade da pesca em fazê-lo (FAO, 2019; 2020).

Atualmente, o continente asiático responde pela parcela mais significativa da produção aquícola do planeta e seus países concentram as maiores expectativas de incremento de oferta no curto e no médio prazo, como a China, a Índia e a Indonésia. Excetuando os asiáticos, as estimativas de crescimento mais relevantes em termos absolutos pertencem ao Egito e ao Brasil, respectivamente (FAO, 2019; 2020).

A produção aquícola brasileira foi de 579,2 mil toneladas no ano de 2018, cerca de 0,7% da oferta global (FAO, 2020; IBGE, 2020). A perspectiva é de que este número ultrapasse um milhão de toneladas em 2030, com a piscicultura continental sendo o segmento com contribuição mais substancial, seguida da carcinicultura marinha e da malacocultura (FAO, 2019).

No cenário nacional, a aquicultura também representa a principal esperança de atendimento do crescente mercado interno e de diminuição do *déficit* da balança comercial de pescado, que foi de 287,3 mil toneladas em 2019 (BRASIL, 2020). Para isso, é fundamental que o Governo Federal possa somar esforços às Unidades da Federação no sentido de direcionar políticas e investimentos ao setor, maximizando sua atratividade para os atuais e para potenciais investidores.

O estado do Pará é uma Unidade Federativa de 1.248.000 $km^2$, a segunda maior do país em extensão territorial, de base econômica agroextrativista e que conta com condições naturais privilegiadas para a prática das mais diversas modalidades aquícolas. Porém, a aquicultura paraense produziu somente 13,6 mil toneladas em 2018, o correspondente a 2,3% do total nacional (IBGE, 2020).

Este estudo teve o objetivo de apresentar o cenário atual daaquicultura no estado do Pará, destacando particularidades regionais, fatores limitantes e estratégias para o seu desenvolvimento em consonância com as especificidades do bioma amazônico e com as características socioeconômicas e culturais da população local.

## 2 | METODOLOGIA

A coleta de dados ocorreu em maio de 2020 a partir do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que permite acesso ao banco de tabelas de estudos e pesquisas da instituição. Esta ferramenta viabilizou o levantamento de informações relativas ao estado do Pará e seus respectivos municípios, como: a produção aquícola e seu valor monetário, o número de empreendimentos e as principais espécies produzidas.

O IBGE é o órgão governamental responsável pela disponibilização da estatística oficial da aquicultura brasileira desde 2013 e o faz, anualmente, por meio da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Além disso, publicou recentemente os resultados definitivos do Censo Agropecuário referente ao ano de 2017, trabalho que é efetuado a cada dez anos e que realiza visitas presenciais aos estabelecimentos agropecuários do país.

As associações do setor de abrangência nacional, como a Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE-BR) e a Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC), também disponibilizam dados estatísticos acerca dos seus produtos relativos ao país e suas Unidades da Federação, mas não adentram à esfera municipal. Desta forma, suas informações foram observadas para fins de discussão da realidade paraense.

A análise das particularidades regionais considerou a divisão regional do Brasil em Regiões Geográficas Intermediárias e Regiões Geográficas Imediatas definidas pelo IBGE em 2017. Nesta publicação, o estado do Pará foi dividido em sete Regiões Geográficas Intermediárias (Belém, Castanhal, Marabá, Redenção, Altamira, Santarém e Breves) e 21

Regiões Geográficas Imediatas, o que correspondem às mesorregiões e microrregiões da divisão regional anterior, respectivamente.

Os aspectos inerentes à estrutura das cadeias de produção e a identificação dos seus principais fatores limitantes, assim como a proposição de políticas públicas e de ações direcionadas a iniciativa privada foram fundamentados em revisão de literatura e em entrevistas realizadas com 30 atores sociais de todas as Regiões Geográficas Intermediárias, entre eles: aquicultores, gerentes de empreendimentos aquícolas, comerciantes, extensionistas rurais, técnicos de órgãos de fomento e pesquisadores.

Por fim, os dados obtidos foram organizados em tabelas, enquanto os fatores limitantes e as estratégias para o desenvolvimento do setor foram apresentados de maneira descritiva.

## 3 I CENÁRIO ATUAL DA AQUICULTURA NO ESTADO DO PARÁ

Atualmente, a aquicultura no estado do Pará é baseada em três atividades: 1) a piscicultura continental, desenvolvida em seus 144 municípios; 2) a ostreicultura, praticada nas Regiões Intermediárias de Belém e Castanhal; e 3) a carcinicultura marinha, com iniciativas situadas exclusivamente na Região Intermediária de Castanhal (BRABO et al., 2016a). Em 2018, a produção aquícola paraense foi de 13,6 mil toneladas, o que correspondeu a um faturamento de R$ 111,7 milhões, para um total de 11.456 empreendimentos que abastecem unicamente ao mercado local (IBGE, 2020).

A piscicultura continental teve início na década de 1970, com a tilápia-do-Nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) sendo a espécie precursora e os peixes redondos ganhando notoriedade a partir da década de 1980, quando inclusive foi elaborado o primeiro “Programa Estadual de Piscicultura”, que teve sua assinatura em 15 de abril de 1982 (BRABO et al., 2016b). Esta atividade foi responsável pela produção de 13,5 mil toneladas no ano de 2018, 99,2% do total estadual, com destaque para o tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) e o híbrido tambatinga *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus* (IBGE, 2020) (Tabelas 1 e 2).

| Ano | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Produção (mil toneladas) | 5 | 11,9 | 13,9 | 12,9 | 12,1 | 13,5 |

Tabela 1. Produção da piscicultura continental no estado do Pará de 2013 a 2018, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020).

| Nome vulgar | Espécie | Produção (mil toneladas) |
|---|---|---|
| Tambaqui | *Colossoma macropomum* | 8,4 |
| Tambacu/Tambatinga | Híbridos | 3,0 |
| Pirapitinga | *Piaractus brachypomus* | 0,4 |
| Matrinxã | *Brycon amazonicus* | 0,2 |
| Tilápia | *Oreochromis niloticus* | 0,2 |
| Piauçu | *Leporinus macrocephalus* | 0,2 |

| Pintado/surubim | Híbridos | 0,2 |
|---|---|---|
| Pirarucu | *Arapaima gigas* | 0,2 |
| Outros peixes | Várias espécies | 0,2 |

Tabela 2. Produção da piscicultura continental por espécie no estado do Pará em 2018, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020).

De acordo com o anuário da PEIXE-BR de 2019, a produção piscícola do estado do Pará foi de 23,7 mil toneladas em 2018, valor estimado pela quantidade de ração vendida cruzado com a produção efetiva dos piscicultores e que diverge em 10,2 mil toneladas do dado governamental relativo ao ano correspondente (Tabela 3). Um parâmetro que pode ser considerado para minimizar a discussão acerca desta disparidade é o dado de comercialização disponibilizado também pelo IBGE por meio do Censo Agropecuário, um total de 8,5 mil toneladas comercializadas em 2017, que tende a corroborar a informação oficial constante na Pesquisa da Pecuária Municipal (PEIXE-BR, 2019; IBGE, 2020).

| Ano | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Produção (mil toneladas) | 15 | 18 | 19 | 20 | 23,7 | 25,5 |

Tabela 3. Produção da piscicultura continental no estado do Pará de 2014 a 2019, de acordo com a Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE-BR).

Fonte: Associação Brasileira da Piscicultura - PEIXE-BR (2016; 2018; 2019; 2020).

A ostreicultura surgiu em 2001 e, hoje, conta com sete empreendimentos comerciais distribuídos em cinco municípios, que envolvem cerca de 80 aquicultores, em especial pescadores artesanais e agricultores familiares (SAMPAIO et al., 2017). A única espécie produzida é a ostra nativa *Crassotreagasar* (Adanson, 1757), que tem suas formas jovens obtidas em bancos naturais localizados no município de Curuçá (REIS et al., 2020). A produção paraense de ostras no ano de 2018 foi de 69,3 toneladas, oriundas principalmente das iniciativas instaladas em Augusto Corrêa e Salinópolis, para um faturamento de R$ 550 mil (IBGE, 2020) (Tabela 4).

| Ano | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Produção (toneladas) | 8,2 | 42,6 | 38,2 | 41,8 | 55,7 | 69,3 |

Tabela 4. Produção da ostreicultura no estado do Pará de 2013 a 2018.

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020).

A carcinicultura marinha é desenvolvida no território paraense desde 1975, quando ocorreram as primeiras experiências com espécies de camarões nativos. A partir do ano 2000, o camarão cinza *Penaeusvannamei* (Boone, 1931) passou a ser a única espécie utilizada, com pós-larvas adquiridas em laboratórios de larvicultura situados no Nordeste brasileiro, até o surgimento da primeira inciativa local em 2016 (BRABO et al., 2016c). No ano de 2018, esta atividade produziu 60 toneladas, o correspondente a R$ 1,2 milhão, com destaque para as fazendas em operação no município de Curuçá, informação que é

referendada pela estatística da ABCC (IBGE, 2020) (Tabela 5).

| Ano | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Produção (toneladas) | 40 | 42 | 67 | 60 | 50 | 60 |

Tabela 5. Produção da carcinicultura marinha no estado do Pará de 2013 a 2018.

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020).

Neste contexto, a ostreicultura e a carcinicultura marinha apresentam uma distribuição restrita ao litoral, salvo por uma recente iniciativa de produção de camarão cinza em sistema de bioflocos no município de Castanhal, enquanto a piscicultura continental tem seus aspectos tecnológicos e econômicos diretamente influenciados pelas particularidades regionais do território paraense, o que motivou uma caracterização baseada na atual divisão regional adotada pelo IBGE.

## 4 I FATORES LIMITANTES PARA O DESENVOLVIMENTO DA AQUICULTURA PARAENSE

### 4.1 Cadeia produtiva da piscicultura continental

Dentre as características favoráveis ao desenvolvimento da piscicultura no estado do Pará, estão: grande extensão territorial, inclusive com áreas já desflorestadas para a prática de bovinocultura extensiva ou de extrativismo vegetal; acentuada disponibilidade hídrica, inclusive com dois dos maiores reservatórios de usinas hidrelétricas do Brasil; clima ideal para a produção de espécies tropicais ao longo do ano inteiro; elevado consumo *per capita* de pescado da população local, com ótimas possibilidades para inserção de produtos da aquicultura; e logística favorável à exportação por via marítima ou aérea para os Estados Unidos e para a Europa (BRABO, 2014; BRABO et al., 2016a; BRABO; SANTOS, no prelo).

Neste contexto, os principais fatores limitantes para a realização deste potencial são: falta de segurança jurídica promovida pelo marco regulatório da atividade, que ocasiona burocracia, exigências excessivas e morosidade na regularização dos empreendimentos, principalmente no tocante ao licenciamento ambiental e na obtenção da outorga de direito de uso dos recursos hídricos; carência de assistência técnica aos produtores, em especial nas regiões de logística mais complexa e menor densidade demográfica; baixa profissionalização dos empreendimentos, em termos de rigor nos controles zootécnico e econômico; oferta de formas jovens aquém da demanda local e irregularidade no seu fornecimento; e elevado preço das rações comerciais, mesmo as fabricadas por empresas locais (BRABO, 2014; BRABO et al., 2016a; BRABO; SANTOS, no prelo).

No que se refere aos proprietários de estações de alevinagem os principais problemas são: regularização dos empreendimentos perante os órgãos governamentais, o que pode ser notado inclusive na irregularidade das iniciativas estatais; e a renovação do plantel de matrizes, com peixes selvagens ou peixes de lotes domesticados mantidos sob o devido controle genético. Em relação aos produtores que adquirem as formas jovens de peixes em iniciativas locais as dificuldades mais relevantes são: irregularidade no fornecimento,

inclusive de tambaqui, que pode ter sua reprodução induzida ao longo do ano inteiro; e ausência de serviços de entrega do produto em algumas regiões ou condicionamento da entrega à aquisição de grandes volumes (BRABO, 2014; BRABO et al., 2016a; BRABO; SANTOS, no prelo).

Para as fábricas de ração, a maior dificuldade é a obtenção de ingredientes a preços competitivos, aquisição que geralmente ocorre em outros estados brasileiros, em especial os farelos de soja *Glycinemax* L. e de milho *Zeamays* L. A produção paraense desses grãos tem sido incrementada, inclusive nas adjacências dessas fábricas, como nos municípios de Tailândia, Goianésia do Pará, Paragominas e Dom Eliseu, mas o custo operacional ainda é elevado e o preço praticado é pouco competitivo se comparado a outros estados, como Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás e até São Paulo (BRABO; SANTOS, no prelo).

Em termos de transformação, o Estado não conta com estabelecimentos processadores de pescado construídos com a finalidade de processar a produção oriunda da piscicultura, mas essa situação não representa um fator limitante para este elo da cadeia produtiva, visto que os empreendimentos voltados ao beneficiamento da produção advinda da pesca podem fazê-lo. Contudo, o elevado custo de produção da piscicultura e o baixo rendimento dos cortes nobres das principais espécies e híbridos, em especial dos peixes redondos, dificultam esta forma de agregação de valor (BRABO; SANTOS, no prelo).

Deste modo, a comercialização de produtos da piscicultura se dá principalmente por meio do peixe vivo ou inteiro fresco nos próprios empreendimentos, para o consumidor final ou para atacadistas, que atendem feirantes, peixarias, supermercados e restaurantes. Vale ressaltar a significativa participação de peixes oriundos de pisciculturas de outros estados neste mercado, em especial do Maranhão, de Rondônia e do Mato Grosso (BRABO; SANTOS, no prelo).

## 4.2 Cadeia produtiva da ostreicultura

O mercado consumidor e a regularização dos empreendimentos no tocante ao local de implantação representam os principais fatores limitantes ao desenvolvimento na cadeia produtiva da ostreicultura no estado do Pará. Atualmente, a produção de ostras é vendida em sua totalidade no mercado local, que apresenta um baixo consumo, e nenhuma inciativa conta com título de cessão emitido pela Secretaria de Patrimônio da União (SPU) para a prática da aquicultura em águas públicas.

Antes da ostreicultura ser desenvolvida no litoral paraense, o hábito da população em consumir ostras restringia-se basicamente a comunidades pesqueiras e aos turistas que frequentavam praias em períodos de veraneio. Este molusco, geralmente consumido vivo, é menos popular na culinária regional do que o mexilhão ou sururu *Mytella* spp., bivalves que no período de safra são habitualmente encontrados em espaços públicos destinados à comercialização de pescado em municípios costeiros e nos principais centros consumidores próximos, como Belém e Castanhal.

O advento desta atividade popularizou o consumo de ostras nas comunidades que sediam os empreendimentos e em seus respectivos municípios, com o produto sendo inclusive ofertado em restaurantes locais e até da Capital. Contudo, uma parcela significativa da população ainda atrela a ostra a eventos de intoxicação alimentar, o que dificulta uma maior expansão em termos mercadológicos. Tal fato se deve ao organismo

ser filtrador e capaz de acumular substâncias tóxicas e/ou microorganismos patogênicos, o que pode comprometer a sua ingestão no estado cru.

Importante ressaltar que a possibilidade de selecionar a área a ser implantado um empreendimento de ostreicultura representa um diferencial em relação às ostras oriundas do extrativismo, visto que o critério proximidade de possíveis focos de contaminação é o principal fator considerado na decisão. Desta forma, diversas campanhas de *marketing* têm sido executadas pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) em parceria com os ostreicultores e outros órgãos governamentais, no intuito de promover incremento da demanda e uma maior valorização do produto.

Neste contexto, o reduzido hábito de consumo, a imagem associada a eventos de intoxicação alimentar, a curta vida de prateleira e a baixa praticidade no preparo do produto adquirido vivo se apresentam como principais dificuldades da ostreicultura em termos comerciais, visto que o preço de primeira comercialização de R$ 10,00 a R$ 15,00 por dúzia dependendo do município, é relativamente acessível ao público local e está estagnado há pelo menos três anos.

Essa situação poderia ser contornada em todos os aspectos com a concepção de produtos congelados passíveis de comercialização no mercado nacional, em especial em bares e restaurantes localizados nas capitais e em municípios litorâneos. Porém, seriam necessárias prospecções de mercado para quantificar a demanda e principalmente verificação do preço praticado nesses canais de comercialização, visando atestar a viabilidade do processamento em estabelecimentos com selo de aprovação do Serviço de Inspeção Federal (SIF) e da operação para a distribuição do produto.

No tocante a regularização dos empreendimentos, a ostreicultura no estado do Pará é praticada em ambiente de águas interiores, o que subordina suas iniciativas ao processo de cessão de águas públicas de domínio da União para fins de aquicultura, previsto no Decreto Federal n° 4.895 de 25 de novembro de 2003 e nas instruções normativas que o complementam. Este procedimento envolve o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Marinha do Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA), o órgão ambiental estadual, o órgão gestor da unidade de conservação, se for o caso, e a SPU (BRASIL, 2003).

Nenhuma ostreicultura no litoral paraense conta com título de cessão da área aquícola emitida pela SPU, apesar dos produtores possuírem Registro de Aquicultor e todas as iniciativas apresentarem dispensa de licenciamento ambiental concedida pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) e, as que estão localizadas em unidades de conservação, terem a anuência de seus respectivos órgãos gestores. Este fato nunca promoveu penalidades aos ostreicultores, especialmente pela ausência de conflitos em relação ao espaço físico, mas compromete a atratividade do negócio para maiores investimentos.

Outra constatação é relativa ao comércio do produto, que é efetuado em sua totalidade com as ostras vivas, diretamente pelos produtores com o consumidor final ou com restaurantes que a ofertam sob diferentes formas de preparo, o que praticamente inutiliza a Portaria da Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará (ADEPARÁ) n° 3.036 de 1 de agosto de 2017, que estabelece o Regulamento Técnico de Identidade e

Qualidade Higiênico e Sanitária da Produção da Carne de Moluscos Bivalves Congelada e Ostras Vivas, visto que é direcionada à estabelecimentos processadores (PARÁ, 2017). Contudo, a região não possui o monitoramento de microorganismos contaminantes ou de biotoxinas marinhas, de responsabilidade do Governo Federal, previstos na Instrução Normativa Interministerial MPA/MAPA nº 7 de 8 de maio de 2012, que institui o Programa Nacional de Controle Higiênico-Sanitário de Moluscos Bivalves (PNCMB) (BRASIL, 2012a).

Desta forma, fica evidente que entre as três atividades aquícolas mais desenvolvidas no território paraense, a ostreicultura é a que menos demanda esforço governamental, basicamente: estudos mercadológicos com a quantificação da demanda local e prospecção de novos canais de comercialização; e estudos técnicos dos empreendimentos para regularização no processo de cessão de águas públicas da União para fins de aquicultura. A doação de estruturas de criação ou de materiais para a sua construção como já ocorreu em outro momento não é indicada, dado o baixo investimento financeiro demandado pela atividade e a possibilidade de fazê-lo com recursos próprios, mesmo para agricultores familiares e pescadores artesanais de reduzido poder aquisitivo.

Todos os ostreicultores já se encontram organizados em associações, que formam uma rede responsável em compartilhar e padronizar estratégias para o desenvolvimento sustentável da atividade, chamada Nossa Pérola. Porém, apenas a aquisição de insumos, a vigilância e o uso de estruturas de apoio são atividades coletivas no âmbito dos empreendimentos, o manejo e a comercialização são individuais, o que demonstra uma lacuna passível de ser preenchida pelo fortalecimento da organização social e que viabilizaria o atendimento de mercados mais exigentes em quantidade e regularidade.

### 4.3 Cadeia produtiva da carcinicultura marinha

Os principais fatores limitantes ao desenvolvimento da carcinicultura marinha no território paraense são: 1) o marco regulatório da atividade, no tocante principalmente aos critérios para a utilização de espécies exóticas em viveiros escavados com lançamento do efluente em corpo hídrico superficial e ao uso de áreas de apicum para implantação de novos empreendimentos; e 2) as unidades de conservação demarcadas no litoral, em especial as reservas extrativistas, o que praticamente inviabiliza a expansão da atividade na zona costeira.

No que concerne ao marco regulatório relativo às espécies exóticas, a Lei Estadual nº 6.713 de 25 de janeiro de 2005, que trata da política pesqueira e aquícola no estado do Pará, considera o cultivo em sistemas abertos como atividade ilegal e a Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA) nº 143 de 20 de dezembro de 2018 estabeleceu critérios exclusivamente para sistemas fechados, ou seja, não trouxe diretrizes para o sistema parcialmente fechado, onde se enquadram todos os empreendimentos de carcinicultura marinha em viveiros escavados em operação atualmente (PARÁ, 2005; 2018).

Importante salientar que não há alternativa técnica para a substituição do camarão cinza, que possui ocorrência natural no Oceano Pacífico, por uma espécie de camarão nativo do Brasil. As espécies de importância para a pesca no litoral paraense e que apresentam elevado valor comercial, como o camarão branco *Litopenaeusschimitti* (Burkenroad, 1936)

e os camarões rosas *Penaeussubtilis* (Pérez Farfante, 1967) e *Penaeus brasiliensis* (Latreille, 1817), no momento, não contam com pacotes tecnológicos desenvolvidos e nem com oferta de pós-larvas.

Deste modo, a Lei Estadual apresenta-se como mais restritiva do que a Lei Federal n° 11.959 de 29 de junho de 2009, que dispõe sobre a política nacional de desenvolvimento sustentável da aquicultura e da pesca, e define como responsabilidade do aquicultor assegurar a contenção dos espécimes no âmbito do cativeiro, impedindo seu acesso às águas de drenagem de bacia hidrográfica brasileira (PARÁ, 2005; BRASIL, 2009a). A situação se repete no que se refere a instalação de empreendimentos de carcinicultura marinha em zona de apicum, área de transição entre o manguezal e a terra firme, quando se porta como mais proibitiva do que a Lei Federal n° 12.651 de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa do Brasil, também conhecida como Código Florestal brasileiro (BRASIL, 2012b).

Quanto às unidades de conservação demarcadas no litoral paraense, a maioria trata-se de reservas extrativistas, que de acordo com a Lei n° 9.985 de 18 de julho de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, são assim definidas: "áreas utilizadas por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, e tem como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade" (BRASIL, 2000).

A implantação de empreendimentos de carcinicultura marinha nessas unidades de conservação, além de não convergir com o objetivo de suas demarcações, é influenciada negativamente pela propagada ideia entre ambientalistas de que a atividade promove severos impactos ao ecossistema circundante, seja por destruição de habitats ou por poluição decorrente de seus efluentes. Neste contexto, mesmo as iniciativas instaladas antes da demarcação devem contar com a participação do órgão gestor e do conselho da unidade na renovação de suas licenças de operação.

É importante ressaltar que empreendimentos de carcinicultura na zona costeira estão submetidos em termos de licenciamento ambiental à Resolução CONAMA n° 312 de 10 de outubro de 2002, que é significativamente mais exigente do que a Resolução CONAMA n° 413 de 23 de junho de 2009, que dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura no Brasil (BRASIL, 2002; 2009b). Este aspecto é positivo para a interiorização das iniciativas de carcinicultura marinha, o que se apresenta como a alternativa mais viável para o desenvolvimento da atividade no território paraense.

Por fim, a carcinicultura marinha confere aos seus investidores uma margem de lucro superior a piscicultura e a ostreicultura, mesmo com as formas jovens e rações sendo adquiridas em outras Unidades da Federação. O mercado local é muito atraente e pratica preços que variam de R$ 30,00 a R$ 80,00 por kg, dependendo do tamanho, da forma de apresentação e do método de conservação do produto.

## 5 | ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA AQUICULTURA PARAENSE

Não adianta ser um excelente aquicultor no que diz respeito ao manejo se o cenário econômico fora da propriedade for desfavorável e, da mesma forma, não é suficiente ter ótimos fornecedores de insumos e um mercado consumidor atraente se não houver um planejamento adequado e eficiência no controle da produção. A união desses fatores, internos e externos à iniciativa, é a chave para minimizar os riscos dos empreendimentos, o que é dificultado pelo cenário econômico paraense para a prática da atividade, ou seja, dado o preço praticado pela ração e a relevante participação deste insumo no processo, não há como evitar o elevado custo de produção (BRABO; SANTOS, no prelo).

Neste contexto, a prioridade em prol do desenvolvimento da atividade reside no planejamento e na execução de políticas públicas eficientes. A doação de alevinos foi uma política pública de fomento à piscicultura que se popularizou na década de 1980, quando a atividade entrou em sua fase comercial e não havia um número significativo de produtores de formas jovens, bem como as tecnologias de reprodução induzida de peixes reofílicos e de reversão sexual de tilápias ainda estavam em fase inicial de transferência dos órgãos de pesquisa e fomento para os empreendimentos particulares (BRABO; SANTOS, no prelo).

Atualmente, a eficiência desta prática pode ser contestada pela quantidade de inciativas ofertando formas jovens e pela baixa participação deste insumo no custo de produção da atividade, cerca de 5%, dependendo da espécie. Logo, subtende-se que o produtor que não apresenta condições financeiras de adquirir os alevinos, não terá meios de comprar ração para alimentá-los até chegarem o tamanho comercial, visto que a ração representa em torno de 70% do total requerido em termos de custo operacional (BRABO; SANTOS, no prelo).

Em relação à doação de rações para que o piscicultor possa se capitalizar ao vender a produção do primeiro ciclo, é uma prática comum e também pouco eficiente, que geralmente culmina em um manejo alimentar inadequado pelo baixo rigor no controle zootécnico efetuado pelo produtor e pela dificuldade de gerir o recurso apurado com a comercialização da produção ao longo de todo o ciclo posterior. Esta política de fomento resulta em dependência vitalícia ao órgão que a pratica, que ao sair de cena também finaliza a operação dos empreendimentos assistidos (BRABO; SANTOS, no prelo).

A disponibilização de maquinário para escavação de viveiros pode ser uma política pública eficiente de fomento, desde que haja critério na seleção das áreas que receberão os projetos e que os beneficiários tenham condições financeiras de custear a atividade, assim como possuam capacitação para o manejo e gestão econômica da iniciativa. Porém, é fundamental que seja considerado um módulo mínimo viável a ser escavado, ou seja, uma área capaz de conferir perenidade ao negócio, mesmo que a iniciativa seja familiar (BRABO; SANTOS, no prelo).

Em termos de comercialização, a realização de feiras do peixe vivo ou mesmo de comercialização de pescado da piscicultura na forma inteiro fresco deve ser iniciativa dos produtores e de suas organizações sociais, com os órgãos públicos oferecendo uma infraestrutura adequada para que isso ocorra. Custos com transporte, técnicos e equipamentos para viabilizar a venda de uma tonelada ou outras quantidades irrisórias,

independente do município, só demonstram a dificuldade que a atividade apresenta de se manter sem assistencialismo (BRABO; SANTOS, no prelo).

Desta forma, os passos iniciais e que não demandam elevados investimentos em termos de políticas públicas na esfera estadual são: revisão do defasado marco regulatório da atividade e diminuição da carga tributária, mais especificamente no Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para rações e seus ingredientes. A priori, apenas estas duas iniciativas já têm capacidade de atrair investidores, contribuir para a estruturação da cadeia produtiva e melhorar a competitividade das iniciativas (BRABO; SANTOS, no prelo).

Caso contrário, os empreendimentos continuarão incapazes de se regularizar, não haverá possibilidade de atração de investimentos, o custo de produção ainda será superior ao dos estados vizinhos e eles permanecerão ofertando seus produtos no mercado paraense com preços mais atraentes, dando continuidade à subutilização da vocação natural do Estado (BRABO; SANTOS, no prelo).

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro passo a ser dado para a realização do potencial aquícola do estado do Pará independe da disponibilidade de recursos públicos para investimento em infraestrutura ou contratação de pessoal, consiste basicamente em deixar claras e atrativas as regras do jogo aos investidores, o que demanda uma profunda adequação nos marcos regulatórios do segmento. No cenário atual, a dificuldade de regularização dos empreendimentos, quer sejam de piscicultura continental, ostreicultura ou de carcinicultura marinha, impede o acesso às linhas de crédito rural para quem não dispõe de recursos próprios e afasta a possibilidade de investimento por parte daqueles que contam com uma reserva financeira disponível, antes mesmo de uma análise econômica do negócio.

No caso da piscicultura, o reflexo disso é que os poucos empreendimentos de grande porte instalados no território paraense geralmente representam uma fonte de renda secundária aos seus proprietários, em uma escala de demanda de recurso financeiro que não compromete o seu negócio principal, ou seja, o investidor é bovinocultor e piscicultor, é produtor de grãos e piscicultor ou conta com outra receita que não provém de atividades agropecuárias. A ausência deste protagonismo deve-se a dificuldade de prosperar na atividade enquanto empreendimento de pequeno porte para proceder novos investimentos no negócio, visto que a maioria opera de forma irregular, compra ração no varejo e obtém baixos preços na venda do seu produto no atacado.

As mudanças nos marcos regulatórios, somada as condições climáticas favoráveis para espécies tropicais e a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, viabilizaria uma das melhores conjunturas do Brasil para a implantação de projetos de piscicultura continental e carcinicultura marinha. Porém, a operação com competitividade demandaria rações com preços mais acessíveis aos produtores, o que só seria possível com o fomento à produção de grãos no âmbito estadual, em especial de soja e milho, e/ou redução do ICMS das rações e de seus ingredientes para que as fábricas locais pudessem adquirir esses produtos a um menor custo, tornando-as um negócio mais atrativo.

Em suma, a adequação à legislação aquícola Federal, a adoção de medidas

exitosas em outros estados brasileiros no tocante ao licenciamento ambiental e a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, bem a redução na carga tributária das rações são as medidas mais viáveis no âmbito institucional para o desenvolvimento da aquicultura paraense, a outra parte é responsabilidade dos atores sociais, que devem aumentar o rigor nos controles zootécnico e econômico, se organizar e promover uma maior cooperação.

## REFERÊNCIAS


BRABO, M.F. **Piscicultura no Estado do Pará: situação atual e perspectivas.**Acta of Fisheries and Aquatic Resources, v, 2, n. 1, p. 1-7. 2014.

BRABO, M.F.; PEREIRA, L.F.S.; SANTANA, J.V.M.; CAMPELO, D.A.V.; VERAS, G.C. **Cenário atual da produção de pescado no mundo, no Brasil e no estado do Pará: ênfase na aquicultura.** Acta ofFisheriesandAquaticResources, v. 4, n. 2, p. 50-58. 2016a.

BRABO, M.F.; FERREIRA, L.A.; VERAS, G.C. **Aspectos históricos do desenvolvimento da piscicultura no Nordeste paraense: trajetória do protagonismo a estagnação.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente,v. 9, n. 3, p. 595-615. 2016b.

BRABO, M.F.; PEREIRA, L.S.F.; FERREIRA, L.A.; COSTA, J.W.P., CAMPELO, D.A.V.; VERAS, G.C. **A cadeia produtiva da aquicultura no Nordeste paraense, Amazônia, Brasil.** Informações Econômicas, v. 46, n. 4, p. 16-26. 2016c.

BRABO, M.F.; SANTOS, M.A.S. Piscicultura no estado do Pará: desafios e estratégias de desenvolvimento sustentável. In: HOMMA, A.K.O. **Sinergias de mudanças na agricultura amazônica.** 1ª edição. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2020. p. 1-20. (No prelo).

BRASIL. **Lei n° 9.985 de 18 de julho de 2000.** Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.Brasília: Diário Oficial da União. 2000.

BRASIL. Conselho Nacional de MeioAmbiente. **Resolução n° 312 de 10 de outubro de 2002.** Dispõesobre o procedimento de licenciamentoambiental dos empreendimentos de carciniculturaem zona costeira. Brasília: Diário Oficial da União. 2002.

BRASIL. **Decreto n° 4.895 de 25 de novembro de 2003.** Dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da união para fins de aquicultura, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União. 2003.

BRASIL. **Lei n° 11.959 de 29 de junho de 2009.** Dispõe sobre a política nacional de desenvolvimento sustentável da aquicultura e da pesca. Brasília: Diário Oficial da União. 2009a.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n° 413 de 26 de junho de 2009.** Estabelece normas e critérios para o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União. 2009b.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Interministerial n° 7 de 8 de maio de 2012.** Institui o Programa Nacional de Controle Higiênico-Sanitário de Moluscos Bivalves (PNCMB) e estabelece os procedimentos para a sua execução. Brasília: Diário Oficial da União. 2012a.

BRASIL. **Lei n° 12.651 de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Diário Oficial da União. 2012b.

BRASIL. **Ministério da Economia.** 2020. Disponível em: <https://siscomex.gov.br/> Acesso em: 03 de maio de 2020.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals.** Roma: FAO yearbook. 2020. 250p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fishery and Aquaculture Statistics 2017.** Roma: FAO yearbook. 2019. 108p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática.** 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/> Acesso em: 03 de maio de 2020.

PARÁ. **Lei n° 6.713 de 25 de janeiro de 2005.** Dispõe sobre a política pesqueira e aquícola no estado do Pará, regulando as atividades de fomento, desenvolvimento e gestão ambiental dos recursos pesqueiros e da aquicultura e dá outras providências. Belém: Diário Oficial do Estado do Pará. 2005.

PARÁ. Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará. **Portaria n° 3.036 de 1 de agosto de 2017.** Estabelece o regulamento técnico de identidade e qualidade higiênico e sanitária da produção da carne de moluscos bivalves e ostras vivas e dá outras providências. Belém: Diário Oficial do Estado do Pará. 2017.

PARÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução n° 143 de 20 de dezembro de 2018.** Dispõe sobre diretrizes para o cultivo de espécies exóticas em empreendimentos aquícolas do estado do Pará. Belém: Diário do Estado do Pará. 2018.

PEIXE-BR - Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário PEIXE-BR da piscicultura 2016.** São Paulo: PEIXE-BR. 2016. 53p.

PEIXE-BR - Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário PEIXE-BR da piscicultura 2018.** São Paulo: PEIXE-BR. 2018. 71p.

PEIXE-BR - Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário PEIXE-BR da piscicultura 2019.** São Paulo: PEIXE-BR. 2019. 148p.

PEIXE-BR - Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário PEIXE-BR da piscicultura 2020.** São Paulo: PEIXE-BR. 2020. 136p.

REIS, R.S.C.; BRABO, M.F.; RODRIGUES, R.P.; CAMPELO, D.A.V.; VERAS, G.C.; SANTOS, M.A.S.; BEZERRA, A.S. **Aspectos socioeconômicos e produtivos de um empreendimento comunitário de ostreicultura em uma reserva extrativista no litoral amazônico, Pará, Brasil.** InternationalJournalofDevelopmentResearch, v. 10, n. 4, p. 35072-35077, 2020.

SAMPAIO, D.S.; TAGLIARO, C.H.; SCHNEIDER H.; BEASLEY C.R. **Oyster culture on the Amazon mangrove coast: asymmetries and advances in an emerging sector.** Reviews in Aquaculture, v. 11, n. 2, p.1–17, 2017.

# CAPÍTULO 6

# A OSTREICULTURA ENQUANTO ALTERNATIVA DE RENDA PARA POPULAÇÕES TRADICIONAIS DO LITORAL AMAZÔNICO: O CASO DA AGROMAR

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Rogério dos Santos Cruz Reis**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
https://orcid.org/0000-0002-5803-2684

**Renato Pinheiro Rodrigues**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
https://orcid.org/0000-0003-2596-2807

**Antonio Tarcio da Silva Costa**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
https://orcid.org/0000-0001-7530-5122

**Jadson Miranda de Sousa**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
http://lattes.cnpq.br/7956710822039858

**Denys Roberto Corrêa Castro**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Abaetetuba – Pará
https://orcid.org/0000-0002-7323-9667

**Carlos Jorge Reis Cruz**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
https://orcid.org/0000-0002-4005-0470

**Daniel Abreu Vasconcelos Campelo**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
https://orcid.org/0000-0001-9204-3566

**Galileu Crovatto Veras**
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
https://orcid.org/0000-0002-9975-830X

**Marcos Antônio Souza dos Santos**
Universidade Federal Rural da Amazônia
Belém – Pará
https://orcid.org/0000-0003-1028-1515

**Marcos Ferreira Brabo**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
https://orcid.org/0000-0001-8179-9886

**RESUMO:** O litoral do estado do Pará conta com sete empreendimentos de ostreicultura, onde agricultores familiares e pescadores artesanais organizados em associações obtém um complemento para suas rendas, vislumbrando a possibilidade de viver exclusivamente dessa atividade. Em termos de produção, a iniciativa da Associação de Agricultores e Aquicultores de Nova Olinda (AGROMAR), localizada no município de Augusto Corrêa, assume papel de destaque, tendo comercializado 12.000 dúzias de ostras no ano de 2016. Com este estudo objetivou-se analisar aspectos socioeconômicos e tecnológicos da ostreicultura no empreendimento comunitário da AGROMAR. A pesquisa foi efetuada no período de agosto a dezembro de 2017 e contou com aplicação de questionários aos ostreicultores e observações de campo para caracterização da tecnologia adotada nas estruturas de criação e no manejo. Constatou-se que a idade dos produtores variava de 27 a 63 anos, 70% possuía o Ensino Fundamental incompleto, 70% apresentava a ostreicultura como principal fonte de renda e 60%

tinha renda familiar mensal entre um e dois salários mínimos. Todos haviam participado de capacitações para atuar na atividade e tinham perspectiva de expandir o negócio. O empreendimento contava com mesas fixas e flutuantes para disposição de travesseiros e um varal para instalação de lanternas voltadas à produção de ostra nativa *Crassostrea gasar*. Apesar das mesas flutuantes possibilitarem maior produtividade do que mesas fixas, havia predomínio de mesas fixas no empreendimento, em função principalmente da limitada capacidade de investimento dos ostreicultores. Concluiu-se que o ciclo de produção de até 24 meses tornava a infraestrutura disponível subutilizada em termos de produtividade, evidenciando a necessidade de adequação no manejo para incremento de rentabilidade.
**PALAVRAS-CHAVE**: Aquicultura; *Crassostrea gasar*; criação de ostras; manejo; socioeconomia.

## OYSTER FARMING AS AN INCOME ALTERNATIVE FOR TRADITIONAL POPULATIONS FROM THE AMAZON COAST: THE CASE OF AGROMAR

**ABSTRACT:** Pará State coast has seven oyster farming projects, where family farmers and artisanal fishermen organized in associations obtain a supplement to their income, envisioning the possibility of living exclusively from this activity. In terms of production, the initiative of the Associação de Agricultores e Aquicultores de Nova Olinda (AGROMAR), located in the Augusto Corrêa City, assumes a prominent role, having sold 12,000 dozen oysters in 2016. The objective of this study was to analyze socioeconomic and technological aspects of oyster farming in the AGROMAR's community project. The research was carried out from August to December 2017 and included the application of questionnaires to oyster farmers and field observations to characterize the technology adopted in the creation structures and management. It was found that the age of the producers ranged from 27 to 63 years, 70% had incomplete elementary school, 70% had oyster culture as the main source of income and 60% had monthly family income between one and two minimum wages. All had participated in training to pratice the activity and had the prospect of expanding the business. The project had fixed and floating tables for the disposal of pillows and a clothesline for the installation of lanterns aimed at the production of native oyster *Crassostrea gasar*. Although floating tables provide greater productivity than fixed tables, there was a predominance of fixed tables in the initiative, mainly due to the limited investment capacity of oyster farmers. It was concluded that the production cycle of up to 24 months made the available infrastructure underutilized in terms of productivity, highlighting the need for adequate management to increase profitability.
**KEYWORDS:** Aquaculture; *Crassostrea gasar*; oyster farming; socioeconomy; management.

## 1 I INTRODUÇÃO

O incremento do consumo de pescado no mundo, o aumento populacional e a incapacidade da pesca em atender isoladamente a essa crescente demanda fazem da aquicultura um investimento promissor (FAO, 2018). Neste contexto, organismos que não exigem a administração de alimento artificial, como macroalgas e moluscos bivalves, assumem papel de destaque entre populações litorâneas de baixo poder aquisitivo (GALLARDI, 2014; KIM et al., 2017).

No Brasil, as condições naturais são extremamente favoráveis à prática da aquicultura, incluindo mais de sete mil quilômetros de litoral. Porém, o país ficou apenas com a 13ª colocação no *ranking* mundial de produção aquícola do ano de 2016, com 507,1

mil toneladas oriundas da piscicultura continental, 52,1 mil toneladas da carcinicultura marinha e 20,8 mil toneladas da malacocultura (IBGE, 2016; FAO, 2018).

Em 2016, a produção brasileira de moluscos foi baseada exclusivamente em bivalves, com o estado de Santa Catarina concentrando 97,9% do total e a cidade de Florianópolis sendo responsável por 90,8% das formas jovens produzidas. Outras oito Unidades da Federação também produziram ostras, vieiras ou mexilhões, foram elas: Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia, Sergipe, Alagoas, Maranhão e Pará (IBGE, 2016). O mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758), a ostra japonesa ou ostra do Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), a ostra do mangue *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828), a ostra nativa *Crassostrea gasar* (Adanson, 1757) (=*Crassostrea brasiliana*) e a vieira *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758) foram as principais espécies produzidas (MONTANHINI NETO et al., 2013; AGUDO-PADRÓ, 2015).

A criação de mexilhões, atividade conhecida como mitilicultura, é a mais importante da malacocultura nacional em termos de produção, seguida da ostreicultura e da criação de vieiras, ramo da aquicultura conhecido como pectinicultura. Os empreendimentos que criam mexilhões e vieiras estão localizados apenas em estados das regiões Sudeste e Sul, enquanto a ostreicultura está distribuída ao longo de todo o litoral, o que indica a importância socioeconômica e o potencial de crescimento dessa atividade em curto prazo (IBGE, 2016).

Nos estados das regiões Norte e Nordeste, onde as ostras produzidas são de ocorrência natural no litoral brasileiro, *Crassostrea rhizophorae* e *Crassostrea gasar*, os sistemas de produção são principalmente do tipo suspenso, podendo ser fixos ou flutuantes (TURECK et al., 2014; FUNO et al., 2015; HARVEY et al., 2017). Em 2016, os maiores produtores nacionais dessas espécies foram respectivamente: Pará, Alagoas, Bahia, Maranhão e Sergipe, respectivamente (IBGE, 2016).

No estado do Pará, a ostreicultura é baseada na espécie *Crassostrea gasar*, sendo desenvolvida em sete empreendimentos comunitários distribuídos em cinco municípios: na Associação das Mulheres na Pesca e Agricultura de Pereru (AMPAP) e na Associação dos Ostreicultores de Pereru de Fátima (ASSOPEF) em São Caetano de Odivelas; na Associação dos Aquicultores da Vila de Lauro Sodré (AQUAVILA) e na Associação Agropesqueira de Nazaré do Mocajuba (AGRONAM) em Curuçá; na Associação dos Aquicultores, Produtores Rurais e Pescadores de Nazaré do Seco (AAPPNS) em Maracanã; na Associação dos Agricultores, Pescadores e Aquicultores do Rio Urindeua (ASAPAQ) em Salinópolis; e na Associação dos Agricultores e Aquicultores de Nova Olinda (AGROMAR) em Augusto Corrêa (BRABO et al., 2016; SAMPAIO et al., 2017).

A iniciativa paraense com produção mais significativa e que apresenta a maior diversidade de estruturas de criação é a AGROMAR, localizada nos limites da Reserva Extrativista Marinha de Araí-Peroba. Dentre as estruturas utilizadas estão: mesas fixas, mesas flutuantes e um varal. As mesas, de maneira geral, são utilizadas para disposição de travesseiros, enquanto o varal é usado exclusivamente para instalação de lanternas.

A AGROMAR, que já se chamou Associação Agropesqueira de Nova Olinda (AGRONOL), foi responsável pela implantação de um dos primeiros empreendimentos de ostreicultura no litoral paraense, fato ocorrido em 2001 (ALCÂNTARA NETO, 2009;

BRABO et al., 2016). Contudo, o número de pessoas envolvidas na atividade diminuiu em relação ao grupo inicial e não surgiram outras iniciativas de criação na região, mesmo com ações sistemáticas de fomento efetuadas por diversos órgãos, como: o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE); o extinto Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), hoje com atribuições englobadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); e a extinta Secretaria de Estado de Pesca e Aquicultura do Pará (SEPAq), atual Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (SEDAP).

Desta forma, é fundamental conhecer as condições de vida e de trabalho dos ostreicultores, bem como a tecnologia de produção adotada. Essas informações podem subsidiar novas ações de órgãos de fomento, além das tomadas de decisão de ostreicultores, agentes financeiros e futuros investidores, inclusive no tocante a iniciativas em outros elos da cadeia produtiva, como a implantação de laboratórios de produção de sementes e estações depuradoras de moluscos bivalves.

Com este estudo objetivou-se analisar aspectos socioeconômicos e tecnológicos da ostreicultura no empreendimento comunitário da AGROMAR, visando propor medidas para incremento de rentabilidade compatíveis com a capacidade de investimento dos produtores.

## 2 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 O Município de Augusto Corrêa, Estado do Pará

O município de Augusto Corrêa (01°01’27’’S 46°39’14’’W) está localizado na mesorregião Nordeste do estado do Pará, microrregião Bragantina. Sua distância de Belém, Capital do estado, é de 228 km por via rodoviária, apresentando uma população estimada de 45.516 habitantes em 2018 e uma unidade territorial de 1.091 km². Limita-se ao Norte com o Oceano Atlântico, a Leste com o município de Viseu, a Oeste com o município de Bragança e ao Sul com os municípios de Viseu e Bragança (IBGE, 2018).

A pesca constitui-se na principal atividade econômica de Augusto Corrêa, sendo responsável por geração de emprego e renda para um significativo número de famílias. Dentre os recursos pesqueiros explorados neste município, está a ostra nativa *Crassostrea gasar*, produto apreciado no mercado regional e que integra a dieta da população local. A coleta deste molusco ocorre em rochas ou raízes de árvores que compõem o ecossistema manguezal.

Neste contexto, a ostreicultura surge como alternativa à captura destes organismos e de diversificação de renda para pescadores artesanais e agricultores em regime de economia familiar do município. O empreendimento comunitário de ostreicultura da AGROMAR está localizado no rio Emboraí Velho (01°03’16,7’’S 46°26’49,4’’W), comunidade de Nova Olinda (Figura 1).

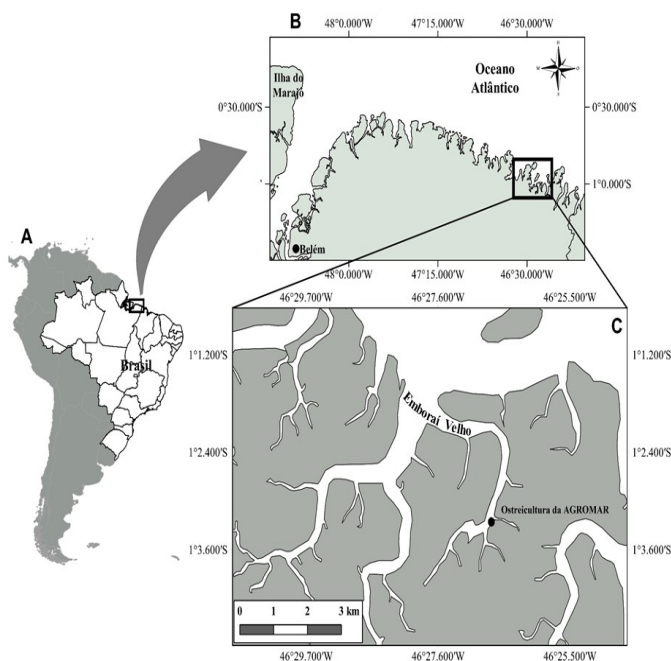



Figura 1. Localização geográfica do empreendimento comunitário de ostreicultura da Associação de Agricultores e Aquicultores de Nova Olinda (AGROMAR), município de Augusto Corrêa, estado do Pará, Brasil. Fonte: Modificado de João Vitor de Moraes Souza Pinheiro (2018).

## 2.2 O empreendimento de ostreicultura da Agromar

Um projeto de pesquisa e extensão chamado “Moluscos Bivalves”, que teve início em 2001 e previa a geração e difusão de tecnologia de criação de moluscos bivalves, pode ser considerado o embrião da ostreicultura no estado do Pará. Essa iniciativa foi financiada pela extinta Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Pará (SECTAM), atual Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS), em parceria com o Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM), a extinta Escola Agrotécnica Federal de Castanhal (EAFC), atual Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará/*Campus* Castanhal e algumas prefeituras municipais, como a do município de Augusto Corrêa (LEE & SAPERDONTI, 2008; ALCÂNTARA NETO, 2009).

A escolha de Augusto Corrêa como uma das sedes do projeto se deu em virtude da ocorrência e exploração de bancos naturais de ostras nos rios adjacentes à comunidade de Nova Olinda. Contudo, o grupo composto por 16 ostreicultores teve suas atividades paralisadas no ano de 2003, por falta de recursos financeiros (LEE & SAPERDONTI, 2008).

Neste contexto, os relevantes resultados em termos de crescimento das ostras fizeram com que cinco produtores retomassem a atividade com recursos próprios em 2005. Desta vez, em parceria com a Prefeitura Municipal de Augusto Corrêa, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do estado do Pará (EMATER/PA), a Universidade Federal do Pará (UFPA) e o SEBRAE (LEE & SAPERDONTI, 2008).

Atualmente, a AGROMAR conta com 12 ostreicultores e integra a Rede Nossa Pérola, iniciativa que congrega todas as associações de produtores do litoral paraense, visando compartilhar e padronizar estratégias para o desenvolvimento sustentável da ostreicultura (ALCÂNTARA NETO, 2009; BRABO et al., 2016). O empreendimento comunitário da AGROMAR é a iniciativa paraense com produção mais significativa e que apresenta a maior diversidade de estruturas de criação (Figura 2).

As formas jovens de ostras são adquiridas junto à outra associação de ostreicultores, que fazem a captação no ambiente natural a comercialização ocorre em sua totalidade no mercado local. Outra importante característica da iniciativa é estar localizada nos limites da Reserva Extrativista Marinha de Araí-Peroba, Unidade de Conservação da Natureza que preza pelo uso racional de estuários, da biodiversidade local e dos manguezais.

Figura 2. Empreendimento comunitário de ostreicultura da Associação dos Agricultores e Aquicultores de Nova Olinda (AGROMAR), município de Augusto Corrêa, estado do Pará, Brasil.

## 3 | METODOLOGIA

A pesquisa foi efetuada no período de agosto a dezembro de 2017 e contou com levantamento de informações socioeconômicas dos ostreicultores, da tecnologia de produção adotada e de aspectos econômicos da atividade. Inicialmente, uma reunião com os ostreicultores foi efetuada na sede da associação para apresentar os objetivos da pesquisa e definir as datas viáveis para as coletas de dados mensais, considerando a disponibilidade dos atores sociais e a maré, fator limitante para facilidade de acesso ao empreendimento, que conta com estruturas fixas, como mesas e um varal, e estruturas flutuantes, exclusivamente mesas.

Para a análise socioeconômica, utilizou-se um questionário semiestruturado abordando aspectos como: sexo, idade, estado civil, número de dependentes, naturalidade, escolaridade, tempo na atividade, motivação para iniciar, capacitação, fontes de renda,

renda familiar mensal, acesso a crédito, dificuldades e perspectivas da atividade. Os aspectos produtivos foram levantados durante observações de campo, o que ajudou a ratificar respostas contidas nos questionários e compreender a funcionalidade das estruturas disponíveis e as particularidades de manejo dos produtores.

Durante as duas primeiras coletas, foi realizado o levantamento do número de estruturas de criação, apetrechos disponíveis e suas respectivas dimensões, bem como entrevistas com os produtores acerca de aspectos construtivos e de demanda por manutenção. Nas demais coletas, todas as etapas do manejo foram acompanhadas *in loco*, de forma a permitir uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas no âmbito do empreendimento.

Os dados socioeconômicos obtidos foram tabulados no *software Microsoft Office Excel*®, versão 2016, e analisados por meio de estatística descritiva, enquanto as informações referentes ao manejo foram apresentadas na seguinte ordem: povoamento, repicagens e despesca.

## 4 I RESULTADOS

Constatou-se que a criação de ostras era exercida por indivíduos adultos dos sexos masculino e feminino, com os homens se dedicando a extração de madeira para construção de mesas fixas, ao seu processo de implantação no local selecionado e a retirada dos travesseiros das estruturas para que o manejo, compreendido pela remoção de incrustações das ostras e padronização de tamanho, fosse praticado no interior das embarcações com auxílio das mulheres. A média de idade dos ostreicultores era de 41±12 anos, com variação de 27 a 63 anos, 80% eram casados ou tinham união estável e apresentavam em média 3±2,6 dependentes.

Quanto à naturalidade, 80% dos produtores nasceram em Augusto Corrêa, os demais eram oriundos de Bragança e Viseu, municípios vizinhos também localizados no estado do Pará. O grau de instrução formal de 70% dos ostreicultores era Ensino Fundamental incompleto, 20% haviam concluído o Ensino Médio e 10% possuía o Ensino Superior completo.

Apesar dos 16 anos de existência do empreendimento, 40% dos envolvidos estava há menos de cinco anos na atividade, 30% entre seis e dez anos, 10% se dedicava ao negócio entre 11 e 15 anos e 20% havia participado desde o início do projeto. A oportunidade de complementar a renda familiar com uma atividade de baixo investimento, manejo simplificado e mercado consumidor atraente foi apontada pelos produtores como a principal motivação para ingressar no ramo da ostreicultura.

Todos haviam participado de capacitações para atuar na atividade, situação proporcionada pela Rede Nossa Pérola, iniciativa de organização dos grupos de ostreicultores coordenada pelo SEBRAE que abrange os sete empreendimentos do litoral paraense. Além de cursos sobre implantação e manejo na ostreicultura, foram efetuadas capacitações em: gestão de negócios, empreendedorismo, associativismo e cooperativismo, comercialização e marketing. Alguns membros da AGROMAR tiveram inclusive a oportunidade de efetuar visitas técnicas a empreendimentos localizados em outros Estados brasileiros, como Bahia e Santa Catarina.

A atividade representava a principal fonte de renda para 70% dos produtores, embora não fosse exclusiva para nenhum deles, que praticavam principalmente agricultura em regime de economia familiar ou pesca artesanal. A renda familiar mensal de um a dois salários mínimos foi a faixa predominante entre os ostreicultores, seguida pela faixa de três a quatro salários mínimos, que no período era de R$ 937,00. Neste contexto, 50% dos envolvidos eram beneficiários do programa Bolsa Família do Governo Federal.

No tocante ao acesso a linhas de crédito rural, 50% dos produtores já havia efetuado operações na modalidade microcrédito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) para investir na atividade. Todos possuíam Declaração de Aptidão ao PRONAF (DAP), emitida pela EMATER/PA e apresentavam Registro de Aquicultor no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Quanto ao licenciamento ambiental, o documento era relativo a todo o empreendimento, uma Dispensa de Licenciamento Ambiental (DLA) conferida pela SEMAS/PA.

Dentre as principais dificuldades citadas pelos ostreicultores, assumem papel de destaque: a limitada capacidade de investimento financeiro, o difícil acesso ao local onde estavam instaladas as estruturas de criação e a gestão deficiente da produção. Porém, todos tinham perspectiva de expandir o negócio, justificando estarem satisfeitos com sua rentabilidade.

O empreendimento comunitário de ostreicultura da AGROMAR contava com 10 unidades produtivas, caracterização que considera a família responsável por uma iniciativa no âmbito do projeto como uma unidade de produção. Neste contexto, o "rancho", edificação de madeira coberta de palha de palmeira utilizada para vigilância e apoio ao manejo, era de propriedade coletiva, assim como uma embarcação de madeira com propulsão a remo. As mesas fixas, mesas flutuantes, o varal, os travesseiros e as lanternas pertenciam a cada ostreicultor, que também definia o manejo a ser praticado.

Ao todo foram contabilizadas 103 mesas fixas e 13 mesas flutuantes, com 1.320 travesseiros. No tocante à dimensão das estruturas, as mesas fixas apresentavam comprimento variável, com largura de 0,8 metros e altura de 0,9 metros padronizadas. Havia 70 mesas com seis metros de comprimento, cinco com oito metros, onze com nove metros, dez com 10 metros, três com 12 metros e quatro com 16 metros, o que totaliza 759 metros de mesas fixas. Todas as mesas flutuantes apresentavam comprimento de seis metros e largura igual a das mesas fixas, perfazendo um total de 78 metros.

Os 837 metros de mesas fixas e flutuantes existentes no empreendimento teriam capacidade de comportar 1.674 travesseiros, o que demonstra uma subutilização da infraestrutura disponível em 354 travesseiros ou de 21,1%. Essa situação é agravada pelos produtores contarem com um total de 1.932 travesseiros disponíveis, ou seja, 612 não estavam sendo utilizados.

No tocante à construção, as mesas fixas eram constituídas de estacas, que as fixam ao substrato, e uma estrutura central formada por varas, que estabelecem o comprimento, e travessas, que definem a largura. As estacas eram de madeira, tubo de PVC de 75 mm preenchido de concreto ou apenas de concreto e apresentavam dois metros de comprimento, sendo 1,1 metros introduzidos no substrato. As varas e travessas eram de madeira ou tubo de PVC de 40 mm, com distância de 0,15 metros e 1,5 metros entre si,

respectivamente. As estacas, varas e travessas eram amarradas com cabo de polipropileno de 3 mm em suas conexões.

Desta forma, existiam quatro diferentes composições de materiais para mesas fixas: madeira; tubo de PVC; madeira e tubo de PVC; tubo de PVC preenchido com concreto e tubo de PVC; e concreto e tubo de PVC. Em termos percentuais, 65% das mesas eram exclusivamente de madeira, 21% eram construídas somente de tubo de PVC, 6% eram de madeira e tubo de PVC, 6% eram de tubo de PVC preenchido com concreto e tubo de PVC e 2% eram de concreto e tubo de PVC.

Dentre as madeiras mais empregadas na construção de mesas fixas estavam: o jacarandá *Jacaranda mimosifolia* D. Don para estacas e travessas, a pitomba *Talisia esculenta* Radlk para travessas, e o bambu *Bambusa cf. vulgaris* L., para varas. A vida útil das estruturas de madeira era estimada em um ano, enquanto os tubos de PVC duravam cerca de 10 anos e o concreto ainda não tinha sua vida útil determinada.

A limitada capacidade de investimento dos ostreicultores da AGROMAR representa a principal razão para o predomínio de mesas fixas no empreendimento. Porém, todos reconhecem que as mesas flutuantes possibilitam uma maior produtividade do que as fixas, visto que as ostras permanecem constantemente submersas, sofrem menor predação e apresentam baixa incidência de parasitas.

Quanto às mesas flutuantes, os materiais utilizados eram: tubos de PVC de 40 mm, bombonas de polietileno de alta densidade (PEAD) de 20 e 60 litros, poitas retangulares de concreto de 800 kg e cabos de polietileno torcido de 12,5 mm e de polipropileno de 8 e 3 mm. Cada estrutura era composta por cinco varas de tubo de PVC de seis metros dispostas paralelamente e quatro travessas distantes 1,5 metros entre si, sustentada a 0,5 metros da superfície por oito bombonas de 20 litros amarradas com cabo de polipropileno de 3 e 8 mm, respectivamente.

A cada cinco mesas flutuantes era estabelecido um sistema de ancoragem com duas poitas de concreto de 800 kg amarradas com cabos de polietileno torcido de 12,5 mm em cada extremidade, além de instaladas duas bombonas de 60 litros para atenuar a incidência das correntes sobre as estruturas.

Assim, no contexto local, onde a profundidade nas marés de sizígia chegava a 7,5 metros, as poitas eram posicionadas a 36 metros de distância entre si, a quantidade de cabo de polietileno torcido de 12,5 mm até as bombonas de 60 litros era de 14 metros, mais um metro das bombonas até a primeira travessa das mesas localizadas nas extremidades. Este cabo era amarrado na primeira e na última travessa de cada mesa flutuante, percorrendo os 30 metros totais da estrutura, o que demandava um total de 60 metros de cabo.

No entanto, o inadequado dimensionamento de poitas e flutuadores em relação ao peso das estruturas e a velocidade da corrente no local selecionado comprometeram sua eficiência. Em 2010, um ostreicultor da então AGRONOL, atualmente AGROMAR, construiu as mesas flutuantes com varas e travessas de tubo de PVC, adicionou flutuadores de 60 litros nas extremidades e fez ajustes nas conexões entre as mesas e as estruturas de flutuação e ancoragem, o que as aperfeiçoou, tornando passíveis inclusive de receber travesseiros e lanternas simultaneamente.

Quanto ao único varal, estrutura fixa empregada na instalação de lanternas, a

composição era exclusivamente de estacas e varas de madeira. Ao todo eram 10 estacas de jacarandá de três metros de altura dispostas a três metros de distância entre si, sendo 1,3 metros introduzidos no substrato, conectadas a varas de bambu com comprimento variando de seis a nove metros, que perfazem um total de 30 metros.

Os travesseiros eram fabricados de PEAD e tinham dimensão de um metro de comprimento e 0,5 metros de largura, sendo adquiridos em empresas especializadas. Dos 1.320 travesseiros em uso no empreendimento, 123 eram iniciais (abertura de malha de 4 ou 6 mm), 155 eram intermediários (abertura de malha de 9 ou 14 mm); e 1.042 eram de terminação (abertura de malha de 21 mm).

As lanternas eram confeccionadas pelos próprios ostreicultores, que adquiriam suas partes constituintes, discos e telas, em empresas especializadas. Os discos eram de PEAD e apresentavam 0,4 metros de diâmetro, enquanto as telas eram de polietileno torcido de 1,5 mm e abertura de malha de 25 mm.

Quando essas estruturas estavam prontas para uso, possuíam 0,6 metros de altura e 0,4 metros de diâmetro, tendo três compartimentos com altura de 0,2 metros para confinamento das ostras. Contudo, as lanternas eram usadas exclusivamente para manutenção de ostras que já haviam atingido o tamanho comercial, sendo mantidas na densidade de 50 ostras/compartimento.

As sementes e juvenis de ostra nativa adquiridas pelos produtores da AGROMAR eram oriundas de outro empreendimento comunitário de ostreicultura no litoral paraense, o da AQUAVILA. Essas formas jovens eram obtidas em ambiente natural, por meio de coletores construídos a partir de garrafas PET e instalados nas proximidades de bancos naturais de ostras.

Neste contexto, a duração do ciclo de produção variava de oito a 24 meses, quando as formas jovens eram sementes (altura da ostra de 15 a 29 mm), ou de seis a 22 meses, quando eram juvenis (altura da ostra de 30 a 59 mm). Essa situação era promovida pelo crescimento irregular do lote adquirido e pela ausência de estratégias dos produtores para comercializarem ostras de tamanho menor do que o médio (altura da ostra de 80 a 99 mm), mesmo que fosse por um valor abaixo do praticado normalmente.

Em termos gerais, os indivíduos eram estocados nos travesseiros iniciais (abertura de malha de 6 ou 9 mm) na densidade de 1.500 a 2.000 ostras/travesseiro. Essa variação era influenciada pela experiência do produtor ou pela disponibilidade de travesseiros com a adequada abertura de malha para esta fase. A taxa de mortalidade era estimada em até 15%, dependendo principalmente da época do ano, com salinidades mais baixas promovendo perdas maiores.

O início do processo de engorda demandava 12 travesseiros, com até 24 milheiros de sementes. Entre 25 e 30 dias, ocorria a primeira repicagem, depois da limpeza, compreendida pela retirada das incrustações das ostras e dos travesseiros com o auxílio de facas e terçados, da primeira padronização por tamanho e do descarte dos indivíduos mortos. Nesta etapa, a densidade passava para 900 a 1.100 ostras/travesseiro, o número de travesseiros utilizados variava de 19 a 23 (abertura de malha de 9 ou 14 mm) e a taxa de mortalidade prevista era de até 5%.

A segunda repicagem ocorria entre 55 e 75 dias, demandando de 44 a 48 travesseiros,

sendo 12 com abertura de malha de 9 mm, 24 com abertura de malha de 14 mm e de 8 a 12 com abertura de malha de 21 mm, que comportavam densidades de 550 a 650, 400 a 450 e 250 a 300 ostras/travesseiro, respectivamente. A taxa de mortalidade estimada nesta fase também era de 5%.

Entre 120 e 160 dias, realizava-se a terceira repicagem, onde as ostras eram distribuídas entre 66 e 72 travesseiros, na proporção de 24 com abertura de malha de 14 mm e de 42 a 48 com abertura de malha de 21 mm. Nos intermediários, a densidade de estocagem era de 350 a 400 ostras/travesseiro e nos travesseiros de terminação era de 200 ostras/travesseiro. A taxa de mortalidade prevista nesta fase era de 5% e com cerca de 80 dias já havia ostras no tamanho *baby* para comercialização.

Entre 200 e 260 dias, todas as ostras eram repicadas para travesseiros com abertura de malha de 21 mm, as que estavam abaixo do tamanho comercial ficavam na densidade de 350 a 400 ostras/travesseiro, as que já haviam atingido o tamanho *baby* eram mantidas na densidade de 200 ostras/travesseiro e as ostras de tamanho médio (altura da ostra de 80 a 99 mm) ficavam estocadas na densidade de 120 ostras/travesseiro.

Essa densidade de estocagem era a mínima adotada pelos ostreicultores, inclusive pelos que permitiam o crescimento até o tamanho máster (altura da ostra acima de 100 mm). Porém, por preferência do mercado consumidor, a maioria da produção era comercializada no tamanho médio.

Vale ressaltar que o crescimento das ostras que passavam mais de um ano nos travesseiros era extremamente lento se comparadas com as de maior desenvolvimento e que a retirada de incrustações das ostras ocorria geralmente com frequência quinzenal ao longo de todo o ciclo de produção, quando também era efetuada a manutenção das mesas.

Em suma, o manejo descrito permite o estabelecimento da seguinte proporção em termos de travesseiros demandados para cada dois milheiros de sementes adquiridas: um travesseiro inicial (abertura de malha de 9 mm), dois travesseiros intermediários (abertura de malha de 14 mm) e nove travesseiros de terminação (abertura de malha de 21 mm) (Tabela 1). Esses apetrechos demandariam 4,5 metros de mesas fixas ou flutuantes e proporcionariam uma produtividade de 121 dúzias a cada ciclo de dois anos.

| Fase | Tipo de Travesseiro | Quantidade de travesseiros | Densidade de estocagem |
|---|---|---|---|
| Povoamento | Inicial | 1 | 2.000 |
| | **Total de ostras** | | **2000** |
| Primeira repicagem | Inicial | 1 | 850 |
| | Intermediário | 1 | 850 |
| | **Total de ostras** | | **1.700** |
| Segunda repicagem | Inicial | 1 | 550 |
| | Intermediário | 2 | 400 |
| | Terminação | 1 | 265 |
| | **Total de ostras** | | **1.615** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Terceira repicagem | Intermediário | 2 | 367 |
| | Terminação | 4 | 200 |
| | **Total de ostras** | | **1.534** |
| Quarta repicagem e início da comercialização | Terminação | 3 | 165 |
| | Terminação | 3 | 200 |
| | Terminação | 3 | 120 |
| | **Total de ostras** | | **1.457** |
| | **Total de dúzias** | | **121,4** |

Tabela 1. Representação da demanda de travesseiros nas mesas fixas e flutuantes por fase do ciclo de produção no empreendimento comunitário de ostreicultura da Associação de Agricultores e Aquicultores de Nova Olinda (AGROMAR).

Por fim, as particularidades das estruturas de criação e do manejo praticado pelos ostreicultores da AGROMAR, que garantem a esta iniciativa a maior produção do estado do Pará, são fruto de 16 anos de dedicação à atividade e devem ser considerados na tomada de decisão dos produtores dos outros seis empreendimentos existentes no litoral paraense, bem como de futuros projetos na região. Aos demais ostreicultores com infraestrutura ou operações de manejo semelhantes, mas com outras espécies e/ou localizados em outras regiões, fica o relato desta exitosa experiência.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ostreicultura representa uma alternativa de renda viável para pescadores artesanais e agricultores familiares de comunidades litorâneas paraenses dispostos a diversificar suas atividades produtivas, visto que é uma atividade que demanda baixo investimento e apresenta manejo simplificado;

Para incremento da rentabilidade, recomendam-se as seguintes adequações no manejo: remoção de predadores e incrustações das ostras com periodicidade pelo menos quinzenal, duração do ciclo de produção de no máximo 12 meses e realização de pelo menos quatro repicagens para classificação por tamanho e adoção de diferentes densidades de estocagem nos travesseiros;

Por fim, uma maior interação entre as iniciativas que integram o mesmo empreendimento pode contribuir significativamente para incremento da produtividade, conquista de novos mercados e até possibilitar maiores investimentos na atividade, de forma a proporcionar a transição de mesas fixas para flutuantes.

## REFERÊNCIAS

AGUDO-PADRÓN, I.A. **Mollusc aquaculture and malacological research in Santa Catarina State (Central Southern Brazil Region): a brief synthetic critical review**. Brazilian Journal of Biological Science, v. 2, n. 4, p. 377-380, 2015.

ALCÂNTARA NETO, C.P. **Aquicultura no Nordeste paraense: uma análise sobre seu ordenamento, desenvolvimento e sustentabilidade**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará, 262 p., Belém, 2009.

BRABO, M.F.; PEREIRA, L.F.S.; FERREIRA, L.A.; COSTA J.W.P.; CAMPELO, D.A.V.; VERAS, G.C. **A Cadeia Produtiva da Aquicultura no Nordeste paraense, Amazônia, Brasil**. Informações Econômicas, v. 46, n. 4, p. 16-26, 2016.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of world fisheries and aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 227 p., Rome, 2018.

FUNO, I.C.S.A.; ANTONIO, I.G.; MARINHO, Y.F.; GALVEZ, A.O. **Influência da salinidade sobre a sobrevivência e crescimento de *Crassostrea gasar***. Boletim do Instituto de Pesca, v. 41, n.4, p. 837–847, 2015.

GALLARDI, D. **Effects of bivalve aquaculture on the environment and their possible mitigation: a review**. Fisheries and Aquaculture Journal, v. 5, n. 3, p.1-8, 2014.

HARVEY, B.; SOTO, D.; CAROLSFELD, J.; BEVERIDGE, M.; BARTLEY, D. M. **Planning for aquaculture diversification: the importance of climate change and other drivers**. Rome, Italy. FAO: Food and agriculture organization processing, 23-25 june 2016, Rome, Italy, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal**. República Federativa do Brasil. 51 p., Rio de Janeiro, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Augusto Corrêa** [Acessado em 20 de dezembro de 2018]. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/augusto-correa/panorama

KIM, J.K.; YARISH, C.; HWANG, E.K.; PARK M.; KIM, Y. **Seaweed aquaculture: cultivation technologies, challenges and its ecosystem services**. Algae, v. 32, n. 1, p. 1-13, 2017.

LEE, J.; SARPEDONTI, V. **Diagnóstico, tendência, potencial e políticas públicas para o desenvolvimento da aquicultura**. Em: Diagnóstico da pesca e da aquicultura no estado do Pará. UFPA / Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Belém. v. 6 de 8, 2008. 823-932p.

MONTANHINI NETO, R.; ZENI, T.O.; LUDWIG, S.; HORODESKY, A.; GIROTTO, M.V.F.; WESTPHAL-C, G.G.; OSTRENSKY A. **Influence of environmental variables on the growth and reproductive cycle of *Crassostrea* (Mollusca, Bivalvia) in Guaratuba Bay, Brazil**. Invertebrate Reproduction and Development, v. 57, n. 3, p. 208-218, 2013.

SAMPAIO, D.S.; TAGLIARO, C.H.; SCHNEIDER H.; BEASLEY C.R. **Oyster culture on the Amazon mangrove coast: asymmetries and advances in an emerging sector**. Reviews in Aquaculture, v. 9, p.1–17, 2017.

TURECK, C.R.; VOLLRATH, F.; MELO, C.M.R.; FERREIRA, J.F. **Rendimento de sementes da ostra *Crassostrea gasar* produzidas em laboratório e cultivadas em Canta Catarina - Brasil**. Boletim do Instituto de Pesca, v. 40, n. 2, p. 281–290, 2014.

# CAPÍTULO 7

# ANÁLISE SOCIOECONÔMICA E LUCRATIVIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) NO ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Carlos André Silva Lima**
Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://orcid.org/0000-0003-3862-0873

**Márcia Regina Fragoso Machado Bussons**
Fazenda Dona Branca
Casimiro de Abreu – Rio de Janeiro
http://orcid.org/0000-0002-5038-1775

**Adriano Teixeira de Oliveira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://orcid.org/0000-0003-4988-9878

**Paulo Henrique Rocha Aride**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://orcid.org/0000-0001-9752-5003

**Fernanda Loureiro de Almeida O'Sullivan**
Embrapa Amazônia Ocidental.
Manaus – Amazonas
http://orcid.org/0000-0003-3507-2808

**Jackson Pantoja-lima**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Presidente Figueiredo – Amazonas
http://orcid.org/0000-0002-6449-4981

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi identificar a viabilidade econômico-financeira, o potencial de atratividade e os riscos para os investimentos da criação do tambaqui no estado do Amazonas, Brasil. O tambaqui é o principal peixe nativo da aquicultura brasileira. Um levantamento foi realizado em 240 pisciculturas e analisado por meio das simulações de Monte Carlo. Verificou-se que a flutuação nos preços da ração (R$ 1,97 ± 0,38 $kg^{-1}$) e do pescado (R$ 7,18 ± 1,96 $kg^{-1}$) exerce grande influência na rentabilidade dos projetos. Em geral, os resultados indicam que é difícil tornar as fazendas lucrativas. A utilização de tecnologias modernas, como aeradores e populações monosexuadas nas pisciculturas podem ser algumas alternativas para contornar esta situação e melhorar a produtividade do setor, promovendo consequentemente a sua sustentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE**: Monte Carlo, piscicultores, viabilidade econômica.

## SOCIOECONOMIC AND PROFITABILITY ANALYSIS OF TAMBAQUI *Colossoma macropomum* FISH FARMING IN THE STATE OF AMAZONAS, BRAZIL

**ABSTRACT:** The objective of this study is to identify the economic–financial viability, attractiveness potential, and investment risks of tambaqui farming in the state of Amazonas, Brazil. Tambaqui is the main native fish in Brazilian aquaculture. A survey was conducted for 240 fish farms, and analyzed through Monte Carlo simulations. It was found that fluctuation in feed (R$ 1,97 ± 0,38 $kg^{-1}$) and fish prices (R$ 7,18 ± 1,96 $kg^{-1}$) exerts a great influence on the profitability of the projects. In general, the results indicate that it is difficult to make the farms profitable. The use of modern technologies, such as aerators and monosex populations on fish farms may be some alternatives to overcome this situation and improve the productivity of the sector,

consequently promoting its sustainability.

**KEYWORDS:** Monte Carlo, fish farmers, economic viability.

## 1 I INTRODUÇÃO

A aquicultura é um setor promissor com grande potencial de expansão na indústria global de produção de alimentos (Garlock et al., 2020). De acordo com a FAO (2018), a produção aquícola deve chegar a 109,4 milhões de toneladas até 2030, 37% a mais do que em 2016, tornando-se uma fonte significativamente maior de frutos do mar do que a pesca selvagem.

O Brasil está atualmente classificado como o décimo terceiro maior produtor global, com produção estimada de 581 mil toneladas em 2016 (FAO, 2018), e a produção deve crescer significativamente. No Brasil, a aquicultura consiste principalmente na carcinicultura, concentrada no Nordeste, na malacocultura, limitada à região Sul, e na piscicultura, distribuída nas demais regiões (IBGE, 2018).

A tilápia (*Oreochromis niloticus*) se destaca como a principal espécie cultivada (Pincinato & Asche, 2016), representando mais da metade (51,7%) da produção brasileira, com uma estimativa de 357,6 mil toneladas, tornando o país o quarto maior produtor desta espécie (PeixeBR, 2019). No entanto, embora as espécies internacionais sejam importantes, o Brasil também é o único a ter uma produção significativa de algumas espécies domésticas com tambaqui (*Colossoma macropomum*) como a mais importante.

O tambaqui é a segunda maior espécie criada no Brasil, representando 24,0% da produção aquícola do país em 2016. É produzido principalmente em Rondônia (49,6 mil toneladas), mas também no Maranhão (10,4 mil toneladas), Roraima (10,3 mil toneladas) e Amazonas (8,9 mil toneladas) (IBGE, 2018). No entanto, o Amazonas possui as condições ambientais mais favoráveis para o aumento da produção aquícola devido ao seu vasto território, boa disponibilidade hídrica e uma das maiores diversidades de ictiofauna do mundo. Além disso, o tambaqui é tradicionalmente o principal peixe do povo amazonense. Apesar do potencial e da cultura de consumo de peixes, o estado do Amazonas não se destaca entre os principais produtores do país.

De acordo com Oliveira et al. (2012), o desenvolvimento da piscicultura no Amazonas tem sido prejudicado pela falta de treinamento e manejo adequado, ausência de controle financeiro e deficiência de tecnologias. Além disso, fatores externos, como condições de mercado desfavoráveis e altos custos da alimentação, têm prejudicado o setor. Esses aspectos podem gerar riscos e dificultar a expansão da indústria no curto e médio prazo (Feitosa et al., 2018).

Simulações de Monte Carlo podem ser usadas para investigar incertezas (Bruni et al., 1998), onde permite a modelagem de variáveis de projeto ao longo de sua execução, levando em consideração a distribuição de probabilidades nas mudanças de fatores e cenários relevantes (Sonoda et al., 2003).

Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar o nível de viabilidade econômica dos empreendimentos piscícolas no Amazonas, através das projeções do efeito no retorno financeiro e sensibilidade em modelos simulados, considerando para isso as

características regionais da piscicultura praticada, bem como o perfil dos piscicultores e suas particularidades.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no estado do Amazonas, uma das 27 unidades federais do Brasil. Localizado na região norte do país, é o maior estado em extensão territorial, tendo sua área estimada em 1.559.146 km$^2$. Possui 62 municípios, distribuídos em 04 mesorregiões: Centro, Sudoeste, Norte e Sul (figura 01). O estado é ainda subdivido em 13 microrregiões que englobam municípios agrupados de acordo com critérios espaciais de determinações sociais, políticas e econômicas predominantes (IBGE, 1990).

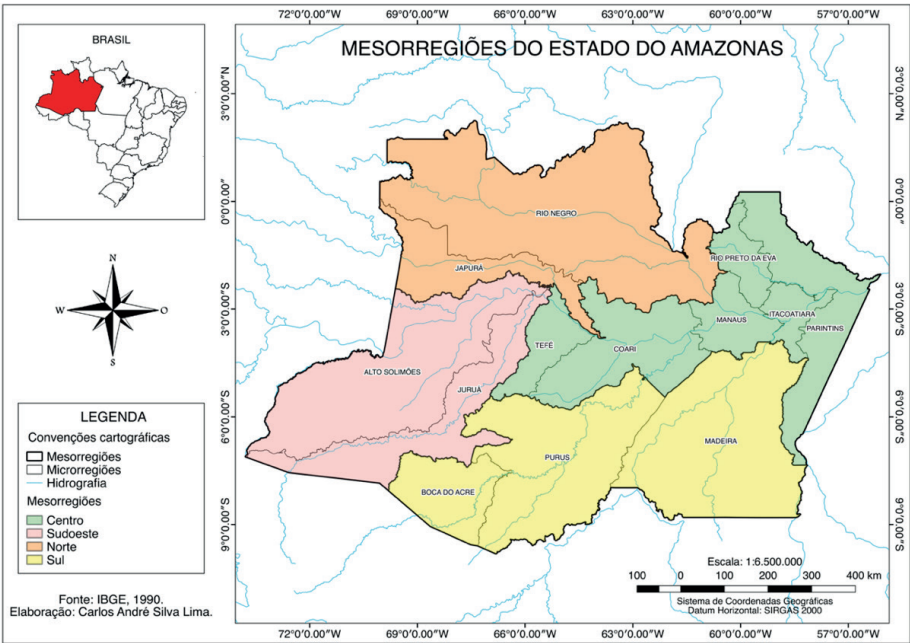



Figura 01. Mapa das mesorregiões do estado do Amazonas. Fonte: IBGE, 1990.

### 2.2 Coleta dos dados

As informações sobre as pisciculturas cadastradas foram obtidas no banco de dados do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), órgão público responsável pelo controle e regularização ambiental. Foram examinados 1.382 empreendimentos formalizados (janeiro de 1992 a março de 2017) quanto às suas características técnicas: tipo de estrutura, estratégia de melhoramento, espécie, sistema de produção, objetivo e finalidade da atividade, mapas de localização, projetos executivos e estudos descritivos, índices zootécnicos e indicadores de produção.

Para gerar dados sobre o perfil dos piscicultores, os dados primários foram coletados por meio da aplicação de um questionário estruturado que perguntou sobre a dependência

e a importância da atividade para os agricultores, bem como seus níveis de especialização e conhecimento técnico e econômico sobre o empreendimento. Os dados coletados foram definidos como um modelo estatístico baseado em uma estratificação com uma técnica de amostragem probabilística (Marconi & Lakatos, 2003) no tamanho da empresa e localização geográfica. Quatro estratos regionais foram usados: a) central; b) sudoeste; c) norte; ed) sul. Para calcular o tamanho da amostra da população de 1.382 piscicultores, foi utilizada a estimativa proporcional. Um número mínimo de 240 piscicultores foi estimado para a pesquisa.

### 2.3 Avaliação econômica das pisciculturas

Para a avaliação econômica, foram coletadas planilhas de custos de produção individuais, contendo informações econômicas de despesas e receitas de acordo com o tamanho da área de inundação, as quais foram definidas para as unidades de produção padronizadas. A partir desses dados, foi possível obter resultados quanto aos investimentos necessários à implantação, ao custo total de produção e às receitas geradas com as vendas.

O tamanho dos investimentos foi determinado por meio da lista dos itens mínimos que seriam necessários ao processo produtivo, ou seja, aqueles que foram considerados indispensáveis para os cálculos de desempenho da viabilidade econômica. Os desembolsos e os montantes de recursos aplicados durante a fase de implementação foram correlacionados proporcionalmente com as características dos empreendimentos-padrão definidos.

Para calcular o custo de produção, a previsão do custo de produção para a análise de investimentos proposta por Matsunaga et al. (1976) foi usado. Refere-se à análise de investimentos com projeções de curto prazo (um ciclo de produção). As seguintes determinações de custo foram usadas:

A. **Custo Operacional Efetivo** (**COE**), que corresponde ao somatório de desembolso realizado pelo produtor com a compra de insumos, manutenção de máquinas e equipamentos, serviços, bem como taxas e impostos para um ciclo de produção;

B. **Custo Operacional Total** (**COT**), que corresponde ao somatório da depreciação de máquinas, equipamentos e construções mais o COE para um ciclo de produção;

C. **Custo Total de Produção** (**CTP**), que corresponde ao somatório dos custos de oportunidade do capital, remuneração do empresário, mais o COT para um ciclo de produção.

Assim, o lucro obtido, ou seja, a diferença entre a receita e os custos envolvidos, foi utilizado como indicador para as estimativas de rentabilidade do empreendimento. Para o modelo de indicadores econômicos, o fluxo de caixa do investimento de longo prazo (mais de um ciclo de produção) foi criado com base nos benefícios e custos (Chabalin & Neves, 1996), o qual compreendeu um período de projeção de dez anos para o empreendimento (Santos et al., 2011), com o investimento aplicado integralmente no ano zero.

Para o fluxo de insumos, a receita obtida com a venda de pescado ao final de cada

período anual de produção foi calculada com base nas informações de preços do pescado obtidas no levantamento e na quantidade total em quilos produzida, estimada através do índice de desempenho de peso e do número de indivíduos proporcionais à área inundada.

No que diz respeito às saídas, foram estimados os gastos relativos ao preço da ração obtido como dados primários (questionário) e à quantidade de ração consumida, com base nos índices zootécnicos que foram estabelecidos na normalização dos dados. Também foi incluído o custo residual de produção relativo a outras despesas (desembolsos), que foi estabelecido dentro do custo operacional efetivo (EOC).

## 2.4 Simulações e projeções de cenários

Foram escolhidos os valores independentes das variáveis mais relevantes no fluxo de caixa (Fernandes, 2015) e que se apresentam mais sensíveis ao retorno do investimento (Silva, 2008; Oliveira, 2015; Simões & Gouvea, 2015), ou seja: *a)* o preço de venda do pescado ($P_{peixe}$), usado para os cálculos de receita (R), e *b)* o preço da ração ($P_{ração}$), usado para a obtenção dos custos (C). Estes foram utilizados, então, na estrutura de cálculo para determinação do lucro (L) e avaliação de desempenho econômico pelos indicadores de lucratividade do empreendimento.

Para as simulações, foram utilizados os valores de preço obtidos junto à fonte de dados primários para as distribuições de probabilidades, sendo que assim como nas investigações sobre o perfil dos piscicultores, optou-se por se estratificarem as amostras de preços, com resultados de avaliação de riscos independentes para as quatro mesorregiões do estado do Amazonas (Centro, Sudoeste, Norte e Sul) nas inferências estatísticas.

As amostras de preços foram armazenadas, tabuladas e agrupadas em planilha eletrônica do Microsoft Office Excel 2016® para obtenção das medidas de tendência central (média) e medidas de dispersão (desvio-padrão) dos dados de preços para aplicação nas simulações. Posteriormente, com uso da ferramenta de geração de números aleatórios do Microsoft Excel ®, foram simuladas dez mil combinações de valores independentes de preço de venda do pescado ($P_{peixe}$) e preço da ração ($P_{ração}$), lançados dentro dos valores de dispersão dos dados coletados para as interações (Fernandes, 2015).

O lançamento ao acaso dos valores de preço para cada variável simulada foi feito por meio de distribuição de probabilidade normal (não discreta) dentro das faixas de variações dos desvios padrões, sendo que os resultados foram então utilizados para os cálculos de lucro (L) pela interação de todas as combinações geradas.

Os resultados de lucro (L) obtidos nas interações foram em seguida utilizados para as análises estatísticas de frequência em gráficos do tipo histograma, com distribuição estratificada (Simões & Gouvea, 2015) para avaliações de desempenho dos empreendimentos padrões e estimação do potencial de risco econômicos ou a probabilidade de sucesso ou fracasso que incorre a atividade (Sonoda, 2002) em cada mesorregião separadamente.

Para a avaliação da probabilidade de sucesso na atividade, foram utilizados como parâmetros indicadores de rentabilidade o Valor Presente Líquido (VPL), que corresponde ao valor em unidade monetária (R$) que reflete em dias atuais as receitas futuras de pagamento acumuladas, descontada a uma taxa de juros ou Taxa Mínima de Atratividade (TMA) definida para o investimento, menos o investimento inicial; e a Taxa Interna de

Retorno (TIR), que é a taxa de juros (desconto) em termos percentuais (%) que iguala em um único momento os fluxos de entrada (receitas) e os de saída (custos), ou seja, é a taxa de juros que produz VPL igual a zero, aplicada sobre as frequências de lucro (L) como critérios da aferição de atratividade em detrimento dos riscos envolvidos na recuperação do capital investido (Sanches *et al.*, 2008; Ritter *et al.*, 2013; Oliveira, 2015).

O princípio adotado para mensuração de riscos na piscicultura foi de que sua TIR seja igual ou superior ao custo de oportunidade do capital (Taxa Mínima de Atratividade) (Vilela *et al.*, 2013) e o VPL seja positivo para se justificar os investimentos nos empreendimentos simulados (Oliveira, 2015).

A avaliação dos fluxos de caixa pelos índices de sensibilidade econômica foi estimada considerando-se o valor de desconto de 6,80% como TMA (Chabalin & Neves, 1996; Vilela *et al.*, 2013; Oliveira, 2015). Tal critério de avaliação de risco leva em conta que ao se investir na piscicultura a TIR deverá ser superior à TMA estabelecida e assim demonstrar que o investimento é economicamente atraente em relação a outras fontes de investimento alternativas (Ritter *et al.*, 2013).

A TMA foi estimada como parâmetro de avaliação econômica considerando-se o valor real de índices da economia (taxas de juros de referência), a qual foi fixada pelo índice de rendimento anual da caderneta de poupança, com valores acumulado atualizados até o período de referência de novembro de 2017. A opção pela poupança se deu por se considerar a taxa de investimento mais segura da economia brasileira e de baixo risco como aplicação financeira (Ritter *et al.*, 2013; Oliveira, 2015; Barros *et al.*, 2016).

## 3 | RESULTADOS

### 3.1 Características do empreendimento padrão

Constatou-se através dos dados que em condições gerais não existem diferenças entre as mesorregiões estudadas quanto às características de padronização, nas quais se considerou que todos os atributos permanecem igualmente constantes em relação às estruturas de criação em todo o estado (tabela 01).

| Item | Característica | Critério | Origem dos dados |
|---|---|---|---|
| Dispositivo de criação | Viveiro escavado | Moda | Primários/Secundários |
| Porte | Pequeno | Moda | Secundário |
| Área alagada (hectare) | 1,39 | Média | Secundário |
| Estratégia de criação | Única espécie | Moda | Primários |
| Objetivo da criação | Engorda | Moda | Primários/Secundários |
| Finalidade | Comercialização | Moda | Primários/Secundários |
| Sistema de produção | Semi-intensivo | Moda | Primários/Secundários |
| Espécie | Tambaqui | Moda | Primários/Secundários |
| Peso médio final (kg) | 2,50 | Moda | Primários |
| Taxa de estocagem (kg/hectare) | 7.000 | Moda | Primários/Secundários |
| Aerador | Não | Moda | Primários |
| Ciclo de produção (ciclos/ano) | 01 | Moda | Primários |
| Produção total (kg/ciclo) | 9.730 | Média | Primários/Secundários |
| Duração do ciclo | 12 meses | Moda | Primários |
| Alimentação | Ração | Moda | Primários |

Tabela 01. Características do sistema de produção piscícola predominantemente adotado no estado do Amazonas, em relação ao critério de definição e origem dos dados coletados.

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

As informações coletadas mostram que as fazendas são pequenas, com área úmida média de 1,39 hectares. A espécie predominante é o tambaqui, em sistema de monocultura semi-intensiva. Os indivíduos criados apresentam peso médio de 2,5 kg. As empresas não utilizam equipamentos de aeração para aumentar sua produção e apresentam uma taxa de estocagem de 7 toneladas / hectare. Eles realizam um único ciclo de produção anual e usam ração comercial em todos os estágios de cultivo.

## 3.2 Resultados sobre preços

Foram obtidos valores mínimos, máximos e médios, bem como os respectivos desvios-padrões em cada um dos itens para cada mesorregião separadamente, no qual os resultados estão dispostos na tabela 02.

| Mesorregião[1] | Item | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Preço de ração (R$/kg) | | | | Preço do pescado (R$/kg) | | | |
| | Mínimo | Máximo | Médio | Desvio-Padrão | Mínimo | Máximo | Médio | Desvio-Padrão |
| Centro | 1,40 | 2,48 | 1,80 | 0,21 | 4,00 | 10,00 | 6,35 | 1,43 |
| Sudoeste | 1,68 | 3,40 | 2,36 | 0,41 | 5,00 | 13,00 | 8,98 | 2,31 |
| Norte | 1,68 | 3,20 | 2,25 | 0,48 | 3,00 | 10,00 | 6,50 | 2,89 |
| Sul | 1,52 | 3,00 | 1,94 | 0,33 | 5,00 | 10,00 | 7,76 | 1,40 |
| **Média** | **-** | **-** | **1,97** | **0,38** | **-** | **-** | **7,18** | **1,96** |

Tabela 02. Valores mínimos, médios e máximos de preço da ração e preço de venda do pescado, levantados por mesorregiões do estado do Amazonas.

Fonte: Dado da pesquisa, 2017. [1]IBGE, 1990.

Constata-se que a ração com valor médio mais baixo foi coletada na mesorregião Centro. A mesorregião Sudoeste foi a que apresentou valor médio mais alto. A média de preço da ração para o estado do Amazonas ficou em R$ 1,97 $kg^{-1}$ (±0,38). Quanto ao preço de venda do pescado, os melhores valores são verificados na mesorregião Sudoeste. A mesorregião Centro apresentou o menor valor médio de venda. O valor médio de venda do tambaqui do Amazonas ficou em R$ 7,18 $kg^{-1}$ (±1,96).

### 3.3 Estimativas de investimento

Para implantar um projeto de piscicultura na forma de sistema de criação vigente no estado do Amazonas (área de 1,39 hectares), com produção de 9.730 kg/ciclo de tambaqui em sistema semi-intensivo, é necessário um investimento de R$ 212.179,00 com investimento.

| Item | Descriminação | Un. | Qtd. | Participação | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (R$) | (%) |
| 1. | Viveiros e captação de água (levantamento topográfico; confecção de viveiros, sistema de abastecimento e drenagem; gramagem; mobilização de máquinas e equipamentos) | R$ | 01 | 105.777,00 | 49,85 |
| 2. | Edificações, construções civis e benfeitorias (depósito; residência; estradas internas; cercas; poço; rede elétrica) | R$ | 01 | 94.472,00 | 44,52 |
| 3. | Máquinas, veículos e equipamentos (bomba hidráulica) | R$ | 01 | 5.500,00 | 2,59 |
| 4. | Ferramentas e utensílios (balança; kit de análise de água; carro-de-mão; roçadeira; caixa d'água; balde; puçá; tarrafa; redes; outros utensílios) | R$ | 01 | 6.430,00 | 3,03 |
| 5. | Projeto e regularização (projeto técnico; taxas e licenças) | R$ | 01 | 0,00 | 0,00 |
| | **TOTAL** | | | **212.179,00** | **100,00** |

Tabela 03. Composição de valores de investimento para implantação de um empreendimento piscícola modal com área alagada média de 1,39 hectares no estado do Amazonas.

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Deste total, a maior parte destina-se à execução de escavação de viveiro e captação de água, seguida de edificações e benfeitorias. Máquinas, veículos e equipamentos respondem por 2,59% e ferramentas e utensílios representam 3,03% do investimento. Os investimentos relativos ao item “projeto e regularização” não foram registrados (0,00%).

### 3.4 Determinação de custos

É possível verificar junto à tabela 04 que o Custo Operacional Efetivo (COE), que representa todos os desembolsos comumente realizados pelo produtor para viabilizar a operacionalização do empreendimento em um ciclo de produção apresentou um valor estimado de R$ 56.723,56.

| Item | Descriminação | Un. | Qtd. | Participação | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (R$) | (%) |
| A. | CUSTO OPERACIONAL EFETIVO (COE) | R$ | 01 | 56.723,56 | 100,00 |
| 1. | Insumos (alevinos; ração; corretivo; fertilizante; energia; combustível; lubrificantes; outras despesas) | R$ | 01 | 36.290,00 | 63,98 |
| 2. | Mão-de-obra (mão-de-obra fixa e temporária) | R$ | 01 | 10.009,73 | 17,65 |
| 3. | Manutenção e conservação (manutenção e reparo de máquinas, veículos e equipamentos) | R$ | 01 | 4.243,58 | 7,48 |
| 4. | Serviços (assistência técnica; análise de qualidade de água) | R$ | 01 | 0,00 | 0,00 |
| 5. | Impostos e taxas (encargos sociais; ITR; C.S.S.R.) | R$ | 01 | 6.180,24 | 10,90 |
| B. | CUSTO OPERACIONAL TOTAL (COT) | R$ | 01 | 69.022,21 | 100,00 |
| 1. | Custo Operacional Efetivo (COE) | R$ | 01 | 56.723,56 | 82,18 |
| 2. | Depreciação | R$ | 01 | 12.298,65 | 17,82 |
| C. | CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO (CTP) | R$ | 01 | 108.442,20 | 100,00 |
| 1. | Custo Operacional Total (COT) | R$ | 01 | 69.022,21 | 63,65 |
| 2. | Remuneração sobre o investimento inicial | R$ | 01 | 25.461,48 | 23,48 |
| 3. | Remuneração do empresário | R$ | 01 | 8.995,20 | 8,29 |
| 4. | Juros sobre o capital circulante | R$ | 01 | 4.963,31 | 4,58 |

Tabela 04. Composição de custos operacionais de um empreendimento piscícola modal com área alagada média de 1,39 hectares no estado do Amazonas.

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

O Custo Operacional Total (COT) apresenta um valor de R$ 69.022,21, com participação do COE equivalendo a 82,18%. Já o Custo Total de Produção (CTP), alcançou valor de R$ 108.442,20. Sobre os gastos com insumos, se constata que a ração corresponde ao item com maior dispêndio, possuindo 87,52% de participação dentre os gastos totais com insumos e 56% em relação ao valor total de COE estimado (figura 02).

Despesas gerais não previstas 0,69 0,44
Combustível e lubrificantes 0,00 0,00
Energia elétrica 4,43 2,83
Fertilizante químico 0,48 0,31
Corretivo 5,52 3,53
Ração 87,52 56,00
Alevinos 1,36 0,87

0,00 20,00 40,00 60,00 80,00 100,00

Sobre o total de insumos Sobre o total de COE

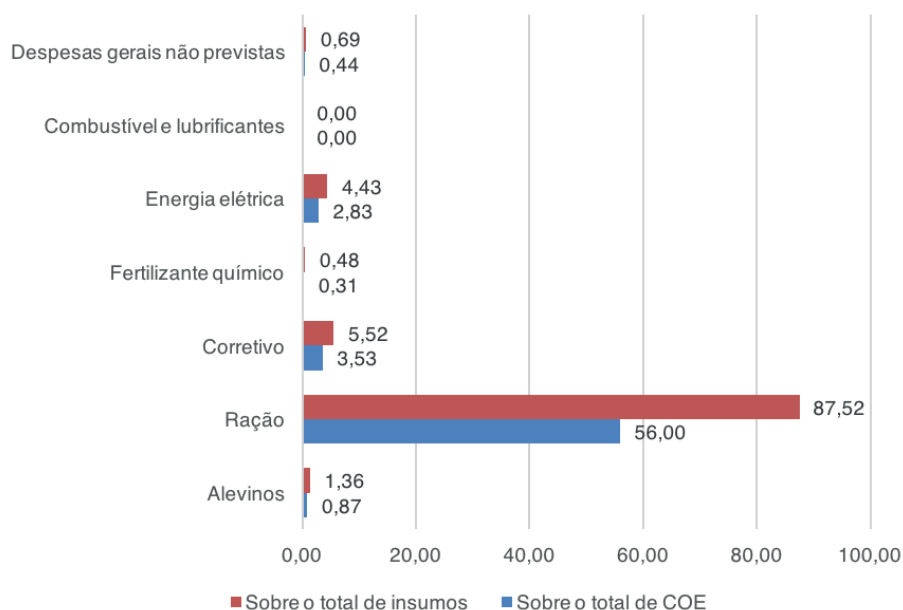



Figura 02. Participação dos custos com insumos em um empreendimento piscícola modal com área alagada média de 1,39 hectares no estado do Amazonas.

Fonte: Dado da pesquisa, 2017.

O segundo item em importância é o corretivo agrícola, com participação de 3,53% sobre o total de COE e 5,52% sobre os custos com insumos no empreendimento. Energia elétrica é o terceiro item mais impactante, correspondendo a 2,83% sobre o COE e 4,43% em relação aos dispêndios totais com insumos. Os desembolsos com alevinos (0,87% e 1,36%) e fertilizante (0,31% e 0,48%) apresentam pouca expressividade no valor global de gastos na atividade, assim como “despesas não previstas” (0,44% e 0,69%) e “combustível e lubrificantes” (0,0% e 0,0%).

## 3.5 Resultados sobre indicadores de lucratividade

As receitas originadas da venda do pescado apresentam maior valor na mesorregião Sudoeste e menor valor na mesorregião Norte. Em relação aos custos gerados, melhores resultados foram encontrados na mesorregião Centro e pior na mesorregião Sudoeste (tabela 05).

| Item | Relação | Ano 0 | Mesorregião[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Centro | Sudoeste | Norte | Sul |
| Investimento | Total (R$) | -212.179,00 | | | | |
| | Unitário (R$/kg) | -21,81 | | | | |
| Receitas | Total (R$) | | 61.785,50 | 87.375,40 | 63.245,00 | 75.504,80 |
| | Unitário (R$/kg) | | 6,35 | 8,98 | 6,50 | 7,76 |
| Custos | Total (R$) | | 53.816,34 | 63.365,71 | 60.974,13 | 56.401,37 |
| | Unitário (R$/kg) | | 5,53 | 6,51 | 6,27 | 5,80 |
| Lucro | Total (R$) | | 7.969,16 | 24.009,69 | 2.270,87 | 19.103,43 |
| | Unitário (R$/kg) | | 0,82 | 2,47 | 0,23 | 1,96 |

Tabela 05. Resultados da composição do fluxo de caixa com valores de receitas, custos e lucros totais e por quilograma de pescado produzido para um empreendimento piscícola modal com área alagada média de 1,39 hectares, por mesorregiões do estado do Amazonas.

Fonte: Dado da pesquisa, 2017. [1]IBGE, 1990.

Quanto ao lucro, a combinação de receitas e custos para a geração de melhor retorno financeiro é obtida na mesorregião Sudoeste (R$ 2,47 $kg^{-1}$). Já a mesorregião Norte compõe o pior resultado observado (R$ 0,23 $kg^{-1}$).

## 3.6 Avaliação de risco pelo Método de Monte Carlo

A partir das variações de preços de ração e preço de venda do pescado praticados nas quatro mesorregiões do estado do Amazonas (tabela 02), foram obtidos pela simulação de Monte Carlo os resultados de dez mil valores de lucro produzidos pela combinação aleatória de fluxo de caixa dos dois componentes de preços para um empreendimento piscícola modal com área alagada média de 1,39 hectares, com a distribuição (histograma) das diferentes classes de valores possíveis decorrentes dessas interações (Ritter *et al.*, 2013) (figura 03).

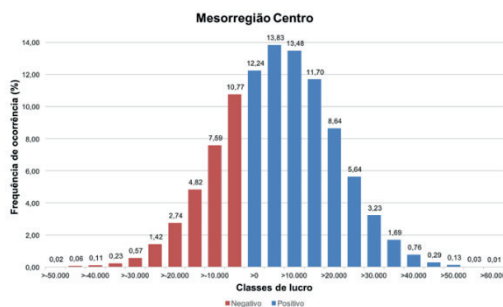
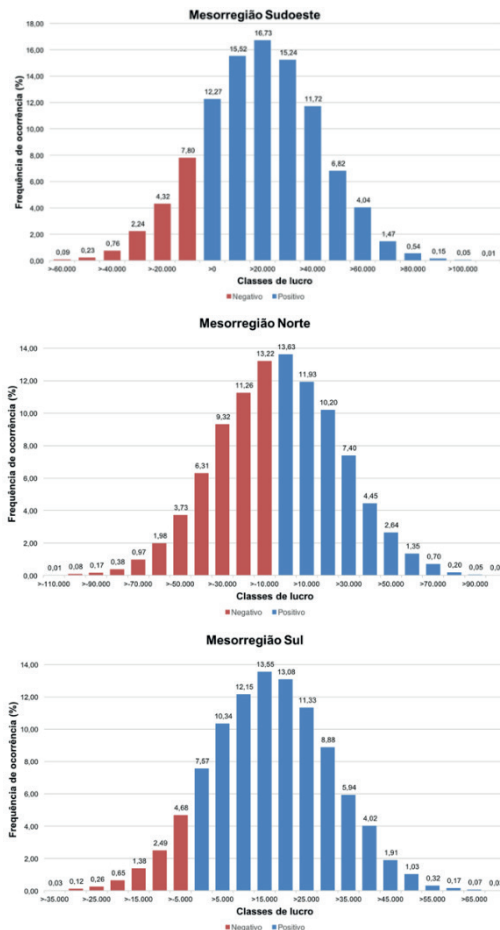



Figura 03. Resultados da simulação de Monte Carlo com distribuição de probabilidade de lucro para empreendimento piscícola com área alagada de 1,39 hectares, por mesorregiões do Amazonas. Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Observa-se que 13,83% dos resultados de empreendimentos da mesorregião Centro estão localizados entre R$ 5.000,00 e R$ 10.000,00. Na mesorregião Sudoeste, os resultados de lucro entre R$ 20.000,00 e R$ 30.000,00, somam 16,73%. Para a mesorregião Norte, em 13,63% dos resultados se agrupam entre as classes R$ 0,00 e R$ 10.000,00 e a mesorregião Sul apresentou o intervalo de R$ 15.000,00 e R$ 20.000,00, com 13,55% de ocorrência.

Quanto às ocorrências de lucro ou prejuízo da atividade, constatou-se que na mesorregião sul, a probabilidade de lucratividade era a maior (90,39%). A mesorregião centro foi a pior (28,33%) (Tabela 6). Uma análise dos valores relativos à atratividade do empreendimento mostrou que o melhor resultado para a possibilidade de investimento foi obtido pela mesorregião sudoeste, uma vez que a TIR superou a TMA em 40,19% dos casos e o VPL se comportou positivamente.

| Mesorregião[1] | Lucro (R$) | | Ocorrência de lucro/prejuízo | | Indicador | | Participação (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mínimo | Máximo | Indicador | (%) | VPL | TIR | |
| Centro | -45.904,61 | 63.106,51 | Prejuízo | 71,67 | Negativo | < 6,80% | 93,80 |
| | | | Lucro | 28,33 | Positivo | > 6,80% | 6,20 |
| Sudoeste | -58.090,23 | 114.604,61 | Prejuízo | 15,44 | Negativo | < 6,80% | 59,81 |
| | | | Lucro | 84,56 | Positivo | > 6,80% | 40,19 |
| Norte | -105.383,85 | 106.716,47 | Prejuízo | 47,43 | Negativo | < 6,80% | 83,17 |
| | | | Lucro | 52,57 | Positivo | > 6,80% | 16,83 |
| Sul | -33.011,93 | 74.708,61 | Prejuízo | 9,61 | Negativo | < 6,80% | 77,47 |
| | | | Lucro | 90,39 | Positivo | > 6,80% | 22,53 |

Tabela 06. Comportamento do lucro e participação de classes de indicadores de atratividade para análises de risco de um empreendimento piscícola modal com área alagada média de 1,39 hectares, por mesorregiões do estado do Amazonas.

Fonte: Dado da pesquisa, 2017. [1]IBGE, 1990.

Considerando-se diferentes projeções de modalidades de porte (área alagada) dos empreendimentos modais para cada mesorregião do Amazonas, foram gerados pela simulação de Monte Carlo os resultados para os indicadores de análise de atratividade através da TIR e VPL, com valores que podem ser conferidos na figura 04.

Mesorregião Centro

Mesorregião Sudoeste

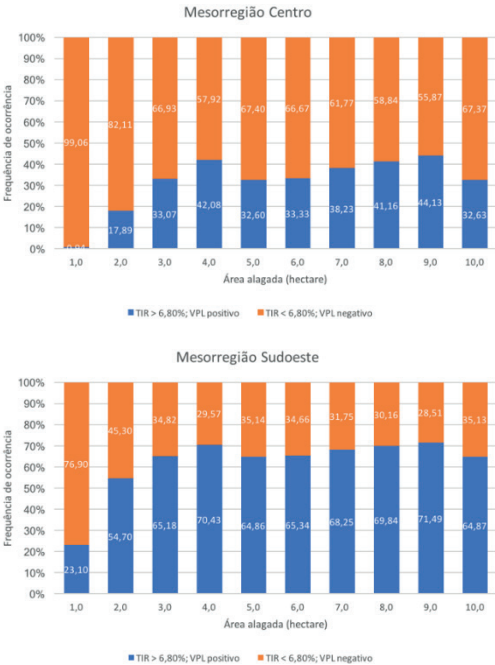
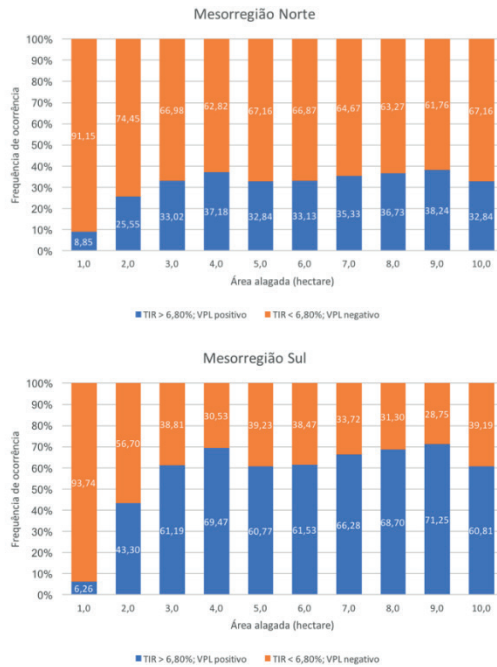



Figura 04. Resultados da participação de TIR em relação à TMA e VPL para análises de risco, aplicados em dez modalidades de porte de empreendimentos padrão, por mesorregiões do estado do Amazonas.

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Constata-se que melhores valores para a participação de VPL positiva e TIR maior que a TMA são novamente obtidos na mesorregião Sudoeste (23,10% a 71,49%). Como já identificado em outras análises, a mesorregião Centro demonstra o pior comportamento de VPL e TIR, onde somente 0,94% dos empreendimentos têm possibilidade de obter lucro superior a TMA para a menor área alagada (1,0 hectare). Para a melhor projeção de porte (9,0 hectares) a chance de se obter retorno acima da poupança é de 44,13%.

## 4 I CONCLUSÃO

A piscicultura no estado do Amazonas apresenta características comuns a todas as mesorregiões estudadas. É praticada com fins comerciais, principalmente em empreendimentos terrestres com pequenas áreas alagadas, onde a produção prioriza espécies nativas, como o tambaqui, com a finalidade de engorda em sistemas de criação semi-intensivos.

Com base nos dados econômicos, o estudo verificou que as formas atuais de piscicultura apresentam baixa eficiência econômica no estado do Amazonas. O alto investimento em infraestrutura, o tamanho e o uso ineficiente da área disponível na definição da escala de produção dos empreendimentos e a combinação desfavorável do alto preço da ração e baixo preço do pescado não projetam confiança no potencial para obter retorno

financeiro da atividade no curto e médio prazo.

Mesmo considerando a possibilidade de retorno da piscicultura em algumas localidades do estado e a opção de aumentar a escala de produção com a ampliação da área de inundação como mecanismo de melhoria dos resultados econômicos, estes não são decisivas para justificar a tomada de decisão quanto à aplicação financeira, que pode ser considerada de alto risco em as atuais condições de mercado.

Assim, a aplicação de medidas que visam a redução dos custos de produção (subsídios e redes de comercialização coletivas), bem como a utilização de tecnologias modernas, como aeradores e populações monosexuadas nas pisciculturas de tambaqui podem se tornar algumas soluções para melhorar a produtividade da atividade e, consequentemente, garantir a sustentabilidade deste setor produtivo da pecuária.

## REFERÊNCIAS


Almeida, F. L. de; Lopes, J. S.; Crescêncio, R.; Izel, A. C. U.; Chagas, E. C.; Boijink, C. (2016). **Early puberty of farmed tambaqui (*Colossoma macropomum*): Possible influence of male sexual maturation on harvest weight**. Aquaculture, v. 452, p. 224-232.

Barros, A. F.; Maeda, M. M.; Maeda, A.; Silva, A. C. C.; Angeli, A. J. (2016). **Custo de implantação e planejamento de uma piscicultura de grande porte no estado de Mato Grosso, Brasil**. Archivos de Zootecnia. 65(249): 21-28.

Brabo, M. F.; Flexa, C. E.; Veras, G. C.; Paiva, R. S.; Fujimoto, R. Y. (2013). **Viabilidade econômica da piscicultura em tanques-rede no reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí, estado do Pará**. Informações Econômicas, SP, v. 43, n. 3, maio/junho. p. 56-64.

Bruni, A. L.; Famá, R.; Siqueira, J. O. (1998**). Análise de risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do Método de Monte Carlo**. Caderno de Pesquisas em Administração, São Paulo, v.1, n. 6, 1 trim./98, 16p.

Chabalin, E.; Neves, E. M. (1996). **Análise econômica da criação de peixes sob condições de risco: um estudo de caso do pacu**. Boletim Técnico CEPTA, Pirassuninga, v. 9, p. 53-60, 1996.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nation. (2018). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals**. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Feitosa, D. L. S.; Sonoda, D. Y.; Souza, L. A. de. (2018). **Risco da rentabilidade em pisciculturas de tambaqui nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima**. Rev. iPecege 4(4): 40-53. DOI: http://10.22167/r.ipecege.2018.4.40.

Fernandes, C. A. B. de A. (2015). **Gerenciamento de riscos em projetos: como usar o Microsoft Excel para realizar a Simulação de Monte Carlo**. 2015, 6p. Disponível em: <http://www.bbbrothers.com.br>. Acesso em: 18 mar. 2016.

Firetti, R.; Garcia, S. M.; Sales, D. S. (2007**). Planejamento estratégico e verificação de riscos na pisciculture**. Pesquisa & Tecnologia, São Paulo. v.4, n.2, p.20-30, 2007.

Garlock, T., F. Asche, J.L. Anderson, T. Bjørndal, G. Kumar, K. Lorenzen, A. Ropicki, M. D. Smith and Tveterås, R. (2020). **A Global Blue Revolution: Aquaculture Growth across Regions, Species and Countries**. Reviews in Fisheries Science and Aquaculture. 28(1), 107-116. doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). **Cidades**. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br> Acesso em: 06 nov. 2017.

______. (2018). **Produção da Pecuária Municipal - 2017**. Rio de Janeiro: IBGE. Rio de Janeiro, RJ. v. 45, 2019, p. 1-8. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 10 out. 2019.

Izel, A. C. U.; Crescêncio, R.; O`Sullivan, F. F. L. de A.; Chagas, E. C.; Boijink, C. L.; Silva, J. I. (2013). **Produção intensiva de tambaqui em tanques escavados com aeração**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus, AM. Circular Técnica 39. 4p.

Marconi, M. de A.; Lakatos, E. M. (2003). **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003, 310p.

Matsunaga, M.; Bernelmans, P. F.; Toledo, P. E. N. de; Dulley, R. D.; Okawa, H.; Pedroso, I. A. (1976). **Metodologia de custos de produção utilizada pelo IEA**. Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola. São Paulo, v.23, n1. p. 123-139.

Oliveira, A. M.; Val, V. M. F. de A.; Val, A. L. (2012). **Caracterização da atividade de piscicultura nas mesorregiões do estado do Amazonas, Amazônia brasileira**. Revista Colombiana de ciência Animal. p. 154-162. 2012. [online] URL: <http://repositorio.inpa.gov.br/handle/123/880>

PeixeBR. (2019). **Anuário PeixeBR da Piscicultura Brasileira (2018)**. 148p. Acesso em: 02 de abril de 2019. Disponível em: http://www.peixebr.com.br.

Pincinato, R. B. M.; Asche, F. (2016). **The development of Brazilian aquaculture: Introduced and native species**. Aquaculture Economics & Management, 20:3, 312-323. DOI: http://10.1080/13657305.2016.1177862

Reis, V. R.; Almeida, F. L. (2018). **Effect of 17β-oestradiol on the sex ratio of tambaqui, *Colossoma macropomum***. Aquaculture Research, v. 50, n. 1, 154-161.

Ritter, F. R.; Pandolfo, A.; Barcellos, L. J. G.; Quevedo, R. M.; Santos-Ritter, V. R. S.; Gomes, A. P.; Marcondes-Pandolfo, L. (2013). **Análise da viabilidade econômica do policultivo de carpas, jundiás e tilápias-do-nilo como uma alternativa de modelo de cultivo de peixes para pequenas propriedades**. Braz. J. Aquatic Science and Technology, 17(2): 27-35. DOI: http://dx.doi.org/10.14210/bjast.v17n2.p27-35

Sanches, E. G.; Henrique, M. B.; Fagundes, L.; Silva, A. A. (2006). **Viabilidade econômica do cultivo da garoupa verdadeira (*Epinephelus marginatus*) em tanques-rede, região sudeste do Brasil**. Informações Econômicas, SP, v. 36, n. 8, ago., p. 15-25.

Sanches, E. G.; Seckendorff, R. W. V.; Henriques, M. B.; Fagundes, L.; Sebastiani, E. F. (2008). **Viabilidade econômica do cultivo do bijupirá (*Rachycentron canadum*) em sistema offshore**. Informações Econômicas, v. 38, n. 12, dez. p. 42-51.

Sanches, E. G.; Tosta, G. A. M.; Souza-Filho, J. J. (2013**). Viabilidade econômica da produção de formas jovens de bijupirá (*Rachycentron canadum*)**. Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo, 39(1): 15-26.

Santos, A. B.; Santana, D.; Almeida, E. G. (2011). **Viabilidade econômico-financeira da piscicultura na região noroeste do estado de Mato Grosso**. Revista Científica da Ajes, Mato Grosso, v. 4, n. 1, p. 1-9.

Scorvo Filho, J. D.; Martins, M. I. E.; Frascá-Scorvo, C. M. D. (2004). **Instrumento para análise da competitividade na piscicultura**. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSI, D.

M.; CASTAGNOLLI, N. (Eds.). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática. São Paulo: TecArt. p. 517-533.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2014). **Estudo de viabilidade técnica, econômica e socioambiental da piscicultura no município de Benjamin Constant - AM**. Manaus: SEBRAE, Unidade de Estudos e Pesquisas. 60p.

Silva, J. R. da; Rabenschlag, D. R.; Feiden, A.; Boscolo, W. R.; Signor, A. A.; Bueno, G. W. (2012). **Produção de pacu em tanques-rede no reservatório de Itaipu, Brasil: retorno econômico**. Archivos de Zootecnia. 61 (234): 245-254. DOI: http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922012000200009

Simões, D.; Gouvea, A. C. F. (2015). **Método de Monte Carlo aplicado a economicidade do cultivo de tilápia-do-Nilo em tanques-rede**. Archivos de Zootecnia. 64 (245): 41-48.

Sonoda, D. Y.; Cyrino, J. E. P.; Shirota, R.; Scorvo Filho, J. D. (2003). **Economic analysis of alternative systems of tilapia production in cage for different markets**. In: World Aquaculture 2003. Salvador, BA. Proceedings of the World Aquaculture 2003, Book of Abstracts, 2003. p. 737.

Vilela, M. C.; Araújo, K. D. de; Machado, L. de S.; Machado, M. R. R. (2013). **Análise da viabilidade econômico-financeira de projeto de piscicultura em tanques escavados**. Custos e @gronegócio online. v. 9, n. 3, p. 154-173, jul./set. [online] URL: http://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/426

# CAPÍTULO 8

# ASPECTOS ECONÔMICO DA PISCICULTURA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Jesaias Ismael da Costa**
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Centro de Aquicultura
Jaboticabal – São Paulo
https://orcid.org/0000-0001-6824-0359

**RESUMO:** A aquicultura tem despontado como um importante setor na economia e na produção de alimento. Na região amazônica o consumo de pescado é considerado um dos maiores do mundo e uma grande produtora de peixes nativos brasileiros. Este trabalho tem como objetivo elucidar os aspectos econômicos das espécies produzidas na região amazônica, dando destaque ao tambaqui. Foram consultadas informações publicadas em artigos científicos, teses, dissertação e publicações de entidades relacionadas a aquicultura. Foram encontradas informações a respeito da produção de tambaqui, pirapitinga, tambatinga, pintado da Amazônia e pirarucu. No sistema em tanques-rede, a aquisição de tanques foi o item mais representativo, e em viveiros escavados, a construção dos viveiros representam o maior dispêndio inicial. No custo de produção, a ração foi o item mais representativo na fase de terminação, diminuindo sua participação nas fases de recria. A rentabilidade da piscicultura variou com a espécie, local de produção, sistema utilizado, escala de produção e tecnologia empregada.

**PALAVRAS-CHAVE**: custo de produção, espécies nativas, viabilidade econômica.

## ECONOMIC ASPECTS OF PISCICULTURE IN THE BRAZILIAN AMAZON

**ABSTRACT:** Aquaculture is an important sector in the economy and food production. In the Amazon region, fish consumption is one of the largest in the world and a big native fish producer. This manuscript aims to study the economic data about the species produced at Amazon region, with emphasis to tambaqui. Information published in scientific manuscripts, theses and organization report was obtained. Information about production of the tambaqui, pirapitinga, tambatinga, pintado da Amazônia and pirarucu production was found. In the net cages, the purchase of the netcages was the most representative item in the initial investment, and in earth ponds, the construction of the ponds represents the largest initial expenditure. In the production cost, the feed was the most representative item in the finishing phase, decreasing its participation in the rearing phases. The profitability of the fish farming activity varied with the species, geographic location, production system used, the production scale, and used technology.

**KEYWORDS:** production cost, native species, economic profitability.

## 1 I INTRODUÇÃO

A amazônica legal brasileira é um composto por nove estados, sendo eles: Acre, Amazonas, Amapá, Goiás (cinco municípios), Mato Grosso, Maranhão (parte do estado), Rondônia, Roraima, Pará e Tocantins (lei nº 5.173, de outubro de 1966). Essa região compreende 59% do território brasileiro e apenas 12,32% da população nacional (IBGE, 2010). A produção aquícola nessa região é predominantemente piscícola,

com raras as iniciativas de produção de outros organismos aquáticos ou semiaquáticos. Os principais estados produtores são Rondônia, Mato Grosso e Maranhão. O Amazonas se destaca como o principal mercado consumidor de tambaqui de cultivo do Brasil (PEIXE BR, 2020).

A piscicultura é desenvolvida principalmente em sistema de viveiros escavados, com predominância de propriedades de até 5 ha de lâmina de água, focada no cultivo de espécies nativas, sendo responsável pela produção de 82% dos peixes nativos produzidos no Brasil, em 2019. Entre as espécies produzidas, o tambaqui se destaca como a principal espécie produzida na região, além de ser a espécie nativa mais produzida no Brasil (PEIXE BR, 2020).

O investimento para início da atividade piscícola é determinado principalmente pelo tamanho da atividade, local de implantação do projeto e tecnologia a ser adotada (BARROS et al., 2020a, 2020b; BRABO et al., 2013, 2017; COSTA, 2016; LIMA et al., 2020). Na produção em viveiros escavado a construção dos viveiros representa o principal item de investimento (BARROS et al., 2020a, 2020b; COSTA, 2016; LIMA et al., 2020), já na produção em tanques-rede a aquisição ou construção dos taques representam o principal item de investimento.

O custo de produção tem sido utilizado como uma ferramenta para gerar indicadores que auxiliem a gestão na piscicultura (COSTA et al., 2017; COSTA; MARTINS; AYROZA, 2018; SABBAG; COSTA, 2015). O acompanhamento dos indicadores econômicos em ciclos consecutivos aumenta a bagagem de conhecimento do produtor a respeito da tecnologia de produção, do mercado e dos limites de sua produção, buscando maximização dos lucros em ciclos futuros (BATALHA, 2000; HOFFMAN et al., 1987). Os custos tendem a ser decrescentes com o passar do tempo, pois o produtor ao ganhar experiência tem um maior controle de sua produção diminuindo as perdas com insumos e melhorando o processo produtivo (SCORVO-FILHO et al., 2008). Os custos de produção podem ser influenciados por diversos fatores entre eles: a espécie produzida(BARROS et al., 2020a; FURLANETO; AYROZA; AYROZA, 2006; GRAEFF et al., 2001), o local de implantação, a tecnologia de produção adotada (MARTINS et al., 2001); a capacidade de gerenciamento (BOTELHO, 2011; SCORVO-FILHO et al., 2008) a escala de produção (COSTA, 2016; MARTINS et al., 2001); e diversificação da produção (BARROS et al., 2020a; MARTINS et al., 2001).

A rentabilidade da piscicultura vai depender da eficiência técnica do sistema de produção adotado, da qualidade do produto, dos preços de venda e do gerenciamento da atividade (MARTIN et al., 1995). Portanto, pode ser afetada pela densidade, taxa de sobrevivência e taxa de crescimento, o gerenciamento adequado dessas variáveis pelo produtor será de suma importância para atingir as metas produtivas e econômicas. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo elucidar os aspectos econômicos das espécies produzidas na região amazônica, com base em dados publicados em artigos científicos e trabalhos acadêmicos, dando destaque ao tambaqui.

## 2 | ASPECTOS ECONÔMICOS DA PRODUÇÃO DE PEIXES AMAZÔNICOS

### 2.1 Tambaqui (*Colossoma Macropomum*)

O tambaqui (*Colossoma macropomum*) é a espécie nativa mais produzida no Brasil e na região amazônica (IBGE, 2019; PEIXE BR, 2020). Sua produção é desenvolvida em barragens, viveiros escavados, canais de igarapé e tanques-rede (COSTA et al., 2017; GANDRA, 2010; IBGE, 2019; IZEL; MELO, 2004; LIMA, 2018; LIMA et al., 2015; PEIXE BR, 2020). A grande demanda e as excelentes características do tambaqui para criação, têm atraído cada vez mais empreendedores em busca de elevados retornos de capital que a atividade possa gerar. Mas, os produtores devem ser cuidadosos, pois nem sempre a realidade se apresenta como o cenário lhes é apresentado. Avaliações econômicas na criação de tambaqui foram realizadas para viveiros escavados (COSTA et al., 2016, 2017; DA SILVA DE SOUZA; BIANCHINI PONTUSCHKA; GARCEZ COSTA SOUSA, 2017; PEDROZA FILHO; RODRIGUES; REZENDE, 2016a), tanques-rede (BRANDAO et al., 2004; FREITAS, 2011; SILVA et al., 2020), açudes (BARROS; MARTINS, 2012; MELO; IZEL; RODRIGUES, 2001) e gaiolas (BRABO et al., 2017).

A produção de tambaqui em viveiros escavados é modalidade mais produzida no Brasil (PEIXE BR, 2020). Os custos nessa modalidade variam entre R$ 10,70 $kg^{-1}$ a R$ 4,79 $kg^{-1}$, dependendo do local de produção, da metodologia de custo utilizada, da tecnologia empregada e do tamanho da propriedade (Tabela 1). Diversos outros fatores têm sido demonstrados influenciando o custo de produção de tambaquis em viveiros. Silva et al., (2020) observou que famílias de tambaqui melhorados geneticamente permitiram reduzir os custos fixos em até 4% e reduzir os custos médio total em até 1%. Costa et al. (2016) e Freitas (2011) estudaram o efeito da densidade de estocagem no custo do tambaqui, em sistema de viveiros e tanques-rede, respectivamente, esses autores observaram haver uma redução no custo unitário a medida que se aumenta a densidade.

No custo de produção, a participação dos itens irá depender da fase de produção. Na fase de engorda, a ração representa o principal item de custo, com uma variação de 68% a 82% do Custo Operacional Efetivo (COE) (BRABO et al., 2017; COSTA et al., 2017; FREITAS, 2011; LIMA et al., 2020; PEDROZA FILHO; RODRIGUES; REZENDE, 2016b). Na produção de juvenis Costa et al. (2016) observaram que a aquisição de juvenis era o item de maior representatividade no Custo Total de Produção (CTP), variando entre 23,8% a 41%, dependendo da densidade de estocagem. Neste trabalho, a ração configurava-se apenas como o quarto item mais representativo, com participação entre 11,3% a 15,3% do CTP. Os autores atribuíram esse comportamento ao menor ciclo de produção, menor demanda de ração, elevada taxa de crescimento, e aproveitamento do alimento natural.

A variação nos custos de produção irá impactar diretamente na rentabilidade e viabilidade dos empreendimentos. Da mesma forma, que a variação nos preços de venda do produto. Os resultados do projeto Campo Futuro desenvolvido pela EMBRAPA pesca e aquicultura em parceria com a CNA, mostram que a produção de tambaqui em viveiros escavados no Brasil não ultrapassa os 12% de índice de lucratividade (PEDROZA FILHO; RODRIGUES; REZENDE, 2016c). Os resultados mostram ainda que o preço de venda é suficiente para pagar os desembolsos efetivos (COE), mas não é suficiente para pagar

o COT (COE + depreciação da infraestrutura) e custo de oportunidade dos fatores de produção (COT + custos de oportunidade) (Tabela 1). Resultados semelhantes, foram encontrados por COSTA et al. (2017, 2018) para região metropolitana de Manaus para algumas propriedades estudadas, principalmente as que produziam apenas animais, padrão curumim (450 a 700g).

| Autor | Estado | Sistema | Receita | COE | COT | CTP | RLF | LO | Lucro |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Embrapa Pesca e Aquicultura | Rondônia | Viveiro | 5,23 | 4,17 | 4,65 | 5,11 | 1,05 | 0,57 | 0,12 |
| | Rondônia | Viveiro | 6,20 | 4,48 | 7,00 | 10,69 | 1,72 | -0,80 | -4,49 |
| | Mato Grosso | Viveiro | 5,70 | 3,97 | 4,78 | 5,73 | 1,73 | 0,92 | -0,03 |
| | Mato Grosso | Viveiro | 4,50 | 3,77 | 4,44 | | 0,73 | 0,06 | 4,50 |
| | Mato Grosso | Viveiro | 4,70 | 3,70 | 4,48 | 5,05 | 1,00 | 0,22 | -0,35 |
| | Tocantins | Viveiro | 4,70 | 4,36 | 5,16 | 6,17 | 0,34 | -0,46 | -1,47 |
| | Tocantins | Viveiro | 4,50 | 4,41 | 5,54 | 7,09 | 0,09 | -1,04 | -2,59 |
| | Tocantins | Viveiro | 4,80 | 3,85 | 4,62 | - | 0,95 | 0,18 | 4,80 |
| Costa et al 2017 | Amazonas | Viveiros | 3,76 | 4,57 | 5,37 | - | -0,81 | -1,61 | - |
| Costa et al 2018 | Amazonas | Viveiros | 5,5 | 4,90 | 5,60 | - | 0,60 | -0,10 | - |
| Lima et al 2020 | Amazonas | Viveiros | 3,00 a 13,00 | 5,83 | 7,09 | 11,15 | 0,23 a 1,96 | - | - |
| Freitas 2014 | Amazonas | Tanques rede | - | - | - | 3,65 a 7,93 | - | - | - |
| Brabo et al 2017 | Para | Gaiolas | 7,50 | 4,69 | 5,22 | - | 2,81 | 2,28 | - |

Tabela 1 – Custos e indicadores de rentabilidade e lucratividade em R$.kg $^{-1}$ da produção de tambaqui, na região Amazônica.

A manutenção de lucro (receita bruta-custo total de produção) e lucro operacional (receita bruta – custo operacional total) negativos no médio e longo prazo é um problema. Primeiramente a falta de recurso para cobrir a depreciação tem como consequência uma perda de valor monetário da empresa e falta de capital para reposição dos equipamentos e infraestrutura ao final de sua vida útil. Em segundo lugar a falta de recurso para cobrir os custos de oportunidade mostram que há opções economicamente mais rentáveis para o produtor que empregar os seus fatores de produção na atividade, acarretando uma falta de interesse na atividade por diversos investidores.

Na produção em tanques rede, Freitas (2011) observou que os tanques-rede foram o principal item do investimento inicial (64,57% do investimento inicial), houve uma redução no custo unitário com aumento da densidade de estocagem *(* R$ 4,93.Kg$^{-1}$, R$ 4,54.Kg$^{-1}$ e R$ 3,65.Kg$^{-1}$ para as densidades de 50,70 e 90 peixes.m$^{-3}$, respectivamente). Entretanto em todas as densidades o preço de R$ 3,50.kg não foi suficiente para cobrir os custos de produção. Diferentemente, Freitas et al., 2014) resultados positivos na produção de tambaquis em tanques-rede. Brabo (2017) determinou a viabilidade da produção familiar

de tambaqui em gaiolas no Oeste do Pará, também encontrou retornos satisfatórios para essa modalidade, principalmente como fonte de renda extra para familiar das locais.

Lima et al. (2020) avaliou a viabilidade de uma unidade modal de produção de tambaqui com 1,39 ha, em diversas regiões do Amazonas. No COT o principal item de custo foram os inputs (ração, corretivo, fertilizante, energia, combustível, lubrificantes e outras despesas) representando 63,98% do COT, seguido pela depreciação (17,82% do COT) e mão de obra (17,65% do COT). A ração representou 87,52% dos inputs. Os autores demonstraram que há uma probabilidade variando entre 28.33% (região central) a 90,39% (região sul), de que a unidade modal seja financeiramente viável, obtendo valores presente líquidos maiores que zero.

Costa (2016) avaliou eficiência econômica e de escala da criação de tambaqui em viveiros, utilizando a Análise Envoltória de Dados. O autor encontrou retorno crescente de escala para mais de 80% das propriedades estudadas, sugerindo que qualquer redução nos custos, acarretaria um aumento mais que proporcional nas receitas.

> A falta de rentabilidade e baixa eficiência encontrada estava relacionada com: a falta de infraestrutura adequada, baixo conhecimento técnico e mercadológico a respeito da atividade, elevado custo de produção (> R$ 4.50 kg-1), baixa preço médio de venda (< R$ 5.00 kg-1), falta de especialização na produção, ociosidade da infraestrutura e gestão inadequada. De forma contraria, a rentabilidade e elevadas eficiências observadas estava relacionada: ao uso de aeradores, mesmo que em quantidades insuficientes; menor ociosidade da infraestrutura; maior poder de barganha; conhecimento mercadológico e técnico; especialização da produção, desenvolvendo apenas a piscicultura; e maior controle da produção.

## 2.2 Redondos e seus híbridos

A produção de peixes de redondos (sem o tambaqui) apresenta grande relevância para a região amazonica, principalmente para o estado do Mato Grosso (PEIXE BR, 2020). Muitas pesquisas agrupavam o tambaqui juntamente com o pacu, pirapitinga e/ou seus híbridos, devido às semelhanças no sistema produção e no mercado dessas espécies (BARROS; MARTINS; SOUZA, 2011). Mas, com o aumento da relevância do tambaque para a piscicultura, este passou a ter dados separados dos demais denominados de redondos. A criação de espécies de peixes redondos em policultivo é uma maneira de minimizar os riscos, já que não existem tecnologias definidas para cada uma dessas espécies e nem quais as melhores condições de criação para cada uma (BARROS; MARTINS; SOUZA, 2011). Os resutados economicos economicos a cerca da produção desse grupo na região amazonica estão apresentados na Tabela 2.

A produção de tambatinga em viveiros tem apresentado bons resultados tanto em grandes propriedades como em pequenas (BARROS et al., 2016, 2020b; BARROS; MARTINS, 2012) Barros et al. (2016) avaliou a produção desse hibrido em grandes propriedades e econtrou par um horizonte de 15 anos, um valor presente liquido de maior que R$ 7 milhões de reais, payback de 4,03 anos e taxa interna de retorno de 23,4%. Em pequenas propriedades (<5 ha) a produção deste hibrido também apresenta viabildiade, Barros et al.(2020b) encontrou um COT médio R$ 4,91 kg$^{-1}$viavel, considerando um preço

de R$ 5,50 kg-1 foi possível obter um lucro médio de R$ 5.517,30 há-1 ano, foi possivel observar que a medida que aumenta-se o tamanho da área inundada, reduz-se o custo de produção e aumenta o lucro.

Brabo et al. (2013) avaliou a viabilidade de implementação de uma criação de Pirapitinga em tanques rede, na Usina Hidrelétrica de Tucuruí, considerando diferentes escalas produtivas. Os autores observaram que a aquisição de tanques-rede e balsa para manejo representam os principais itens de investimento, com aumento da representatividade do tanque rede, à medida que aumentou a escala produtiva. A ração representou o principal item do custo operacional total variando de 66,27 % (57,6 m³) a 73% (172,8 m³). O aumento da escala produtiva reduziu os custos unitários, aumentou o valor presente líquido e melhorou todos indicadores econômicos, tornando a atividade mais atrativa. Os dados gerados por esses autores sugerem um possível efeito de economia de escala que não foi explorado no presente artigo.

| **Informações** | | **Brabo et al 2013** | | **Barros et al 2016** | **Barros et al 2020** | **Barros e Martins 2012** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Espécie | Pirapitinga | Pirapitinga | Pirapitinga | Tambatinga | Tambatinga | Redondos |
| Local | Pará | Pará | Pará | Mato Grosso | Mato Grosso | Mato Grosso |
| Lâmina de água (há) / tanques rede (m³) | 57,6 | 115,2 | 172,8 | 121,8 | 1,3 a 3,1 | 130,8 |
| Sistema | Tanque-rede | Tanque-rede | Tanque-rede | Viveiros | Viveiros | Viveiros |
| Número de fases | Monofásico | Monofásico | Monofásico | Bifásico | Bifásico | Monofásico |
| Peso inicial (g) | 15 | 15 | 15 | 5 | 10 | 20 a 60 |
| Peso final (kg) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,8 | - | 1,5 a 2,4 |
| Duração do Ciclo (meses) | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12,3 a 21 |
| Produção (kg. ano-1) | 4.032,00 | 8.064,00 | 12.096,00 | 972.797,00 | | 388.586,09 |
| Sobrevivência Média (%) | 90 | 90 | 90 | 74 | 87 a 90 | 16 a 52 % |
| Produtividade anual (kg.m² ou Kg.m³) | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,3 |
| % Ração no COE | 73,85 | 78,10 | 79,62 | 82,43 | - | 71,00 |
| COE (R$/kg) | 5,92 | 5,60 | 5,49 | - | 3,44 | 2,35 |
| COT (R$/kg) | 6,49 | 6,13 | 5,99 | - | 4,47 | 2,52 |
| CTP (R$/kg) | - | - | - | 3,51 | 4,91 | 3,15 |
| Preço de venda (R$/kg) | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 4,00 | 5,50 | 3,21 |
| Receita Liquida (R$/kg) | 1,08 | 1,40 | 1,51 | - | 2,06 | 0,86 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lucro Operacional(R$/kg) | 0,51 | 0,87 | 1,01 | - | 1,03 | 0,69 |
| Lucro (R$/kg) | - | - | - | 0,49 | 0,59 | 0,06 |
| Investimento (R$) | 27.580,00 | 43.580,00 | 61.150,00 | 8.688.933,24 | 63.287,06 | 1.421.540,59 |
| VPL (R$) | 362,53 | 31.060,47 | 59.764,95 | 33.222.096,70 | | |
| TIR (%) | 8,00 | 22,00 | 27,00 | 16,95 | | |
| Benefício/Custo | 1,17 | 1,24 | 1,27 | 1,34 | | |
| Payback(anos) | 6,50 | 3,80 | 3,30 | 5,39 | | |

Tabela 2 – Características, custos e indicadores de rentabilidade e lucratividade em da produção de demais peixes redondos (sem tambaqui), na região Amazônica.

## 2.3 Pintado da Amazônia

O pintado é uma das espécies de grande potencial no Brasil, entretanto diversos com variação nos preços de produção de deixado produtores receosso na hora de investir e reiniciar os ciclos produtivo. Este fato foi observado principalmente no ano de 2018, quando ocorreram os menores preços da década, logo após boas remuneração recebidas no ano de 2017 (PEIXE BR, 2019). Sabaini, Casagrande, Barros (2015) avaliou a produção de pintado da amazônica em tanques rede, observaram que a ração foi o principal item de custo 65,4% do custo variável, seguido dos juvenis (12% do custo varável) e mão de obra (8,5% do custo varável). Os autores demonstraram que a produção é viável, com valores de VPL de R$ 55.219,97, TIR de 19,04% e payback de 3,15 anos.

A Embrapa Pesca e Aquicultura estudando os custos de pintado em Sorriso-MT obtiveram COE (R$ 5,51 $kg^{-1}$), COT (R$ 5,98 $kg^{-1}$) e CTP (R$ 6,66 $kg^{-1}$), valores menores que o preços de venda de R$ 7,20 $kg^{-1}$, indicando lucro positivo e rentabilidade da atividade (MUNOZ et al., 2014). Na produção de pintados em viveiros escavados em grande escala Barros et al. (2016) encontraram resultados bastante satisfatórios, com valores de VPL >R$ 16 milhões, TIR de 37,27% e payback de 2,54 anos.

## 2.4 Pirarucu

O pirarucu tem despertado grande interesse de investidores, entretanto a viabilidade e dados econômicos a respeito da produção dessa espécie ainda são muito escassos. Muñoz (2015) avaliou a produção de pirarucu em viveiros e observaram que a ração representa 55,7% do COE e a aquisição de alevinos 24,8% do COE. Os autores obtiveram valores de R$ 8,58 $kg^{-1}$ de COE, R$ 9,78 $kg^{-1}$ de COT e R$ 10,48 $kg^{-1}$ de CTP mostrando que o preço de venda de R$ 8,70 $kg^{-1}$ foi suficiente apenas para pagas os desembolsos efetivos. Pedroza-Filho et al. (2016) relata que a viabilidade da produção de pirarucu está relacionada principalmente aos valores de aquisição alevinos e de comercialização do produto.

Lopes (2015) avaliou diferentes níveis proteico (36%, 38%,40%, 42% e 45% de proteína bruta) em hapas colocadas em viveiros escavados. O autor demonstrou que há uma redução na participação da aquisição de alevinos e aumento da participação da ração, conforme aumenta-se o tamanho do ciclo de produção. A participação de alevinos no COE

foram de 46 a 55% (110 dias), 26 a 28 % (225 dias) e 19 a 21 % (310 dias). A participação da ração no COE foi de 45 a 54% (110 dias), 71 a 75 dias (225 dias e 79 a 81 (310 dias). A produção apresentou resultado líquido positivo apenas com 110 dias de produção, havendo prejuízos com 225 e 310 dias produção. Mostrando que a manutenção desses animais por longos períodos para fins comerciais é um entrave para a viabilidade da produção.

## 3 | CONSIDERAÇÕES GERAIS

A região amazônica apesar de ser a maior produtora de peixes nativos do Brasil, apresenta diversos fatores que impede o crescimento e maiores ganhos na piscicultura, entre eles a Peixe BR no anuário de 2019, destaca: problemas sanitários, dificuldade de licenciamento ambiental, elevada tributação, ausência de legislação, pouca tecnologia disponível, insegurança jurídica, baixos níveis de controle de qualidade, altos custo de energia e alimentação, ausência de fabricas de ração, custo de produção elevado e falta de competitividade e organização, para fornecer ao mercado volume, estoques e regularidade (PEIXE BR, 2020).

No sistema de produção em tanques-rede e gaiolas, a aquisição e/ou construção dos tanques e gaiolas foram os itens mais representativos no investimento inicial. Na produção em viveiros escavados, a construção dos tanques representa o maior dispêndio inicial. No custo de produção, a ração foi o item mais representativo na fase de terminação em todas as situações, mas nas fases iniciais como a recria, este item não representa o principal. A rentabilidade da atividade esteve associada a espécie criada, local de produção, sistema utilizado, escala de produção e tecnologia emprega.

Entre as espécies produzidas, o tambaqui é a que possui um pacote tecnológico mais desenvolvido e com maior número de informações técnicas, econômicas e mercadológicas, permitindo uma avaliação mais detalhada e uma tomada de decisão mais assertiva. As demais espécies, principalmente as que possuem grande potencial como pirarucu, possuem poucas informações publicadas a respeito dos aspectos econômicos de suas produções. A falta de informações dificulta a entrada de novos empreendedores e investidores, pois não possuem clareza dos ganhos ou prejuízos que possam vir obter.

Há necessidade de um programa que monitore os custos e rentabilidade da atividade aquícolas brasileira, bem como os fatores que podem impactar na viabilidade da produção. Esse tipo programa pode fornecer aos produtores informações que subsidiem a tomada de decisão. Trabalho semelhante foi desenvolvido pela Embrapa Pesca e Aquicultura em parceria com CNA, e atualmente é continuado em parte pela referida Embrapa. Entretanto, ainda não há um banco de dados histórico, que possa ser utilizada como fonte para produção de trabalhos robustos, e a nível de avaliação maior que fazenda e em diversas regiões.

## REFERÊNCIAS

BARROS, A. F. et al. Custo de implantação e planejamento de uma piscicultura de grande porte no estado de Mato Grosso, Brasil. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 249, p. 21–28, 2016.

BARROS, A. F. et al. Investimento e custo de produção de peixes nativos em sistema de policultivo e monocultivo-estudo de caso Investment and cost of production of native fish in polyculture and monoculture system-case study. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16342–16359, 31 mar. 2020a.

BARROS, A. F. et al. Custo de implantação, planejamento zootécnico e econômico de pisciculturas de pequeno porte. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27545–27564, 14 maio 2020b.

BARROS, A. F.; MARTINS, M. I. E. G. Performance and economic indicators of a large scale fish farming in Mato Grosso, Brazil. **Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science**, v. 41, n. 6, p. 1325–1331, 2012.

BARROS, A. F.; MARTINS, M. I. E. G.; SOUZA, O. M. Characterization of fish farming in the microregion lowland in Cuiaba, Mato Grosso, Brazil. **Boletim Do Instituto De Pesca**, v. 37, n. 3, p. 261–273, 2011.

BATALHA, M. O. **Gestão agroindustrial: GEPAI: grupo de estudos e pesquisas agroindustriais .** [s.l.] Editora Atlas SA, 2000.

BOTELHO, A. A. O processo de gestão agropecuária como instrumento do desenvolvimento regional para a agricultura familiar. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, n. 2, 2011.

BRABO, M. et al. Viabilidade econômica da piscicultura em tanques-rede no reservatório da usina hidrelétrica de Tucurí, Estado do Pará. v. 3, 2013.

BRABO, M. F. et al. Economic feasibility of family production of tambaqui in floating cages in West of Para State, Amazon, Brazil. **Custos e Agronegocio**, v. 13, n. 1, p. 275–293, 2017.

BRABO, M. F. Viabilidade econômica da produção familiar de tambaqui em gaiolas flutuantes no Oeste paraense , Amazônia , Brasil. p. 275–293, 2017.

BRANDAO, F. R. et al. Stocking density of tambaqui juveniles during second growth phase in cages. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 357–362, 2004.

COSTA, J. et al. Effect of stocking density on economic performance for Colossoma macropomum (Cuvier, 1816), juvenile in earthen ponds. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 44, n. 1, 2016.

COSTA, J. I. Caracterização, avaliação econômica e eficiência de escala (DEA) na produção de tilápia em tanques-rede e de tambaqui em viveiros escavados. 2016.

COSTA, J. I. et al. ECONOMIC EVALUATION OF TAMBAQUI “CURUMIM” PRODUCTION IN EARTH PONDS IN THE METROPOLITAN REGION OF MANAUS-BRAZIL. **Revista Científica Rural**, v. 19, n. 2, p. p-174, 2017.

COSTA, J. I. et al. Productive performance and economic evaluation of tambaqui roelo in excavated fishponds, Manaus, Brazil. **Revista Agro@Mbiente on-Line**, v. 12, n. 3, p. 234, 2018.

COSTA, J. I.; MARTINS, M. I. E.; AYROZA, D. M. M. R. Impact of control of the golden mussel on the production costs of tilapia bred in net cages. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, n. 1, 2018.

DA SILVA DE SOUZA, E.; BIANCHINI PONTUSCHKA, R.; GARCEZ COSTA SOUSA, R. Viabilidade econômica do uso de aerador para o cultivo semi-intensivo de Tambaqui em tanques escavados. **Revista Desafios**, v. 4, n. 1, p. 50–61, 2017.

FREITAS, C. O. et al. **Gestão de Custo e Viabilidade de Implantação de Piscicultura no Gestão de Custo e Viabilidade de Implantação de Piscicultura no Município de Urupá em Rondônia , Amazônia – Brasil .** XXII Congresso Brasileiro de Custos. **Anais**...Foz do Iguaçu: 2014Disponível em: <https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/1075>. Acesso em: 10 ago. 2020

FREITAS, R. A. DE. **DESEMPENHO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO CULTIVO DE TAMBAQUI (Colossoma macropomum) EM TANQUES-REDE, SOB DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM NO LAGO TUPÉ**. [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 14 set. 2011.

FURLANETO, F. P. B.; AYROZA, D. M. M. R.; AYROZA, L. M. S. **Custo e rentabilidade da produção de tilápia(Oreochromis spp.)em tanque-rede no médio paranapanema, Estado de São Paulo, safra 2004/05.Informações Econômicas**São Paulo NV  - 3, 2006.

GANDRA, A. L. O mercado de pescado da região metropolitana de Manaus. **Montevidéu: Infopesca**, 2010.

GRAEFF, A. et al. Economic stocking viability of common carp fingerlings (Cyprinus carpio Var. Specularis) under high density during the winter. **Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science**, v. 30, n. 4, p. 1150–1158, 2001.

HOFFMAN, R. et al. Administração da empresa agrícola. **São Paulo: Ed. Pioneira Econômica**, v. 7, p. 330, 1987.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica. **Censo Demográfico 2010**.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica. Censo agropecuário 2017: resultados definitivos. **Censo agropecuário**, v. 8, p. 1–105, 2019.

IZEL, A. C. U.; MELO, L. A. S. **Criação de tambaqui (Colossoma macropomum) em tanques escavados no Estado do Amazonas - Documentos 32**ManausEmbrapa Amazônia Ocidental, , 2004.

LIMA, C. A. S. **Caracterização E Diagnóstico Do Perfil Socioeconômico Da Piscicultura No Estado Do Amazonas**. [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 5 fev. 2018.

LIMA, C. A. S. et al. Socioeconomic and profitability analysis of tambaqui Colossoma macropomum fish farming in the state of Amazonas, Brazil. **Aquaculture Economics and Management**, p. 1–16, 21 maio 2020.

LIMA, J. P. et al. Pró-Rural Aquicultura: relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do estado do Amazonas, Brasil. **Nexus-Revista de Extensão do IFAM**, v. 1, n. 1, 2015.

LOPES, F. S. C. **Desempenho produtivo e econômico do pirarucu (Arapaima gigas) em diferentes sistemas de alimentação proteicos presidente médici-ro**. Presidente Médice-Rondônia: Universidade federal de Rondônia, 2015.

MARTIN, N. B. et al. **Custos e retornos na piscicultura em São PauloInformações econômicas**São Paulo NV  - 1, 1995.

MARTINS, C. V. B. et al. Avaliação da piscicultura na região oeste do estado do Paraná. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 27, n. 1, p. 77–84, 2001.

MELO, L. A. S.; IZEL, A. C. U.; RODRIGUES, F. M. **Criação de tambaqui (Colossoma macropomum) em viveiros de argila/ barragens no Estado do Amazonas** (A. O. EMBRAPA, Ed.)Manaus, 2001.

MUNOZ, A. E. P. et al. **Piscicultores discutem os custos de produção de pintado em Sorriso-MT**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131426/1/sorriso.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MUÑOZ, A. E. P. **Piscicultores e demais agentes da cadeia produtiva discutem os custos de produção de pirarucu em viveiro escavado em Ariquemes, Rondônia**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135817/1/CNPASA-Ariquemes-RO.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

PEDROZA-FILHO, M. X. et al. Panorama da cadeia produtiva do pirarucu O gargalo da reprodução de pirarucu e seus impactos na cadeia produtiva. **Ativos da Aquicultura**, v. 2, n. 8, 2016.

PEDROZA FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O.; REZENDE, F. P. Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil. **Embrapa Pesca e Aquicultura-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, 2016a.

PEDROZA FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O.; REZENDE, F. P. Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil. **CNA Brasil: Ativos Aquicultura**, v. 2, n. 7, p. 5, 2016b.

PEDROZA FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O.; REZENDE, F. P. Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil. **CNA Brasil: Ativos Aquicultura**, v. 2, n. 7, p. 5, 2016c.

PEIXE BR, Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020. In: [s.l: s.n.]. p. 1–136.

PEIXE BR, Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário da Piscicultura 2019. **Peixe BR, Associação Brasileira da Piscicultura, São Paulo**, 2019.

SABAINI, D. DA S.; CASAGRANDE, L. P.; BARROS, A. F. Viabilidade econômica da criação do pintado da amazônia (pseudoplatystoma spp.) em tanques-rede no estado de rondônia, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, n. 4, p. 825–835, 2015.

SABBAG, O. J.; COSTA, S. Technical efficiency of tilapia production in Ilha Solteira, SP: a nonparametric analysis. **Boletim de Indústria Animal**, 2015.

SCORVO-FILHO, J. D. et al. Custo operacional de produção da criação de tilápias tailandesas em tanques-rede, de pequeno volume, instalados em viveiros povoados e não povoados. **Custos e @ gronegócio on line**, v. 4, n. 2, 2008.

SILVA, A. C. C. et al. Performance and economic viability of tambaqui, Colossoma macropomum, selectively bred for weight gain. **Acta Amazonica**, v. 50, n. 2, p. 108–114, 2020.

# CAPÍTULO 9

# ABATE *IN SITU* E RENDIMENTO DE CARCAÇA DE JACARÉS AMAZÔNICOS

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Guilherme Martinez Freire**
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/7874124349822874

**Augusto Kluczkovski Junior**
Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas.
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/8360371070839162

**Adriana Kulaif Terra**
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde.
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/7135010073572346

**Fabio Markendorf**
Secretaria Municipal de Saúde de Manaus, Departamento de Vigilância Sanitária
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/6372043854926986

**Washington Carlos da Silva Mendonça**
Universidade Federal do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/2222793756708057

**Ronis da Silveira**
Universidade Federal do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/7214125748792946

**RESUMO:** Na Amazônia, quarto espécies de jacarés podem ser encontradas, duas delas com grande potencial de exploração com finalidade alimentar. A região entre os Rios Purus e Solimões, principalmente a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Piagaçu-Purus, sofre uma forte pressão de caça ilegal de jacarés. Nosso objetivo foi desenvolver um protocolo de abate de jacarés *in-situ* e estimar o rendimento de carcaça para as espécies de jcarés com potencial de exploração (jacaré-açu; *Melanosuchus niger* e jacaré-tinga; *Caiman crocodilus*). Para promover abates com padrões de higiene aceitável para a comercialização local, uma estrutura de processamento simplificada foi montada contendo um sistema de tratamento de água simplificado, capaz de transformar a água rica em sedimentos do Rio Purus em uma água limpa e clorada. Os abates seguiram os princípios humanitários e de boas práticas de manuseio. Após o abate e a esfola o tecido muscular foi separado dos ossos e pesado. O rendimento de carcaça variou de 28,5 a 50,3% para *M. niger* e entre 25,5 e 52,4% para *C. crocodilos*. A correlação entre a massa de carne produzida e a massa corpotal total foi descrita por uma equação preditiva. Este trabalho mostra evidências da viabilidade do uso de recurso hídrico fluvial para subsidiar a implementação de micro indústrias, apoiando a exploração legal e sustentável de jacarés Amazônicos para aumentar a renda de comunidades que coexistem com estas espécies.

**PALAVRAS-CHAVE**: Jacarés, rendimento de carcaça, várzea, cadeia produtiva, segurança alimentar, bioeconomia.

## *IN SITU* SLAUGHTER AND CARCASS YIELD OF AMAZONIAN CAIMANS.

**ABSTRACT:** In the Amazon, four species of caimans can be found, two of them with large

exploitation potential to food purpose. The region between the Purus and Amazon (Solimões) rivers, mainly within Piagaçu-Purus sustainable development reserve, suffer with a strong illegal caiman hunting. Our objective was develop a in situ caiman slaught protocol and estimate the carcass yield for both caiman species with potential exploration (black caiman; Melanosuchus niger and spectacled caiman; Caiman crocodilus). To promote slaught with acceptable hygiene pattern to local commercialization a simplified processing structure was assembled holding a simple water treatment plant able to convert the silted Purus river water to a clean and chlorinated water. The caiman slaughter follows the humanitarian principles and the good handling practices. After slaughter and skinning the muscular tissue was aparted from the bones and weighted. The carcass yield variate between 28,5 and 50,3% for M. niger and between 25,5 and 52,4% for C. crocodilus. The correlation of the produced meat in function of the total mass of the caimans was described by a predictive equation. This work shows evidence of the viability on the use of fluvial hydrological resource to subsidize the implementation of micro industries, supporting legal and sustainable exploitation of Amazonian caimans to rise the profit of communities that coexist with these species.
**KEYWORDS:** Caiman, carcass yield, flooded forest, productive chain, food security, bioeconomy.

## 1 | INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira ocorre quatro espécies de crocodilianos pertencentes à família Alligatoridae popularmente chamados de jacarés, dois destes, o jacaré-açu (Melanosuchus niger) e o jacaré-tinga (Caiman crocodilus crocodilus) são historicamente explorados para obtenção de carne(DA-SILVEIRA; THORBJARNARSON, 1999; MENDONÇA et al., 2016), atualmente estas espécies abastecem o mercado ilegal e por consequência a produção de carne de jacarés amazônicos não segue os mínimos protocolos de higiene durante seu beneficiamento, sendo um fator que desagrega valor e coloca em risco a saúde dos consumidores (SOTERO-MARTINS et al., 2015)

O comércio ilegal é realizado sem distinção de espécies e focado na produção de mantas seco-salgadas (DA SILVEIRA, 2003), portanto não há cortes específicos e nem beneficiamento com higiene adequada. A meta é obter uma manta de carne inteira, pois a renda é relacionada pelo peso comercializado, o que motiva a caça de indivíduos maiores (MARIONI; MÜHLEN; DA-SILVEIRA, 2007).

Os dados sobre rendimento da carcaça são importantes para verificar a viabilidade comercial do aproveitamento econômico de uma espécie de corte, além de fornecer subsídios para o seu aproveitamento tecnológico e planejamento econômico da atividade.

O cálculo do rendimento de carcaça nos fornece a relação entre peso vivo e peso final da carcaça de um animal após abate e cortes. Os números obtidos, possibilitam comparar as diferentes espécies de animais destinados a consumo, avaliar fatores críticos da cadeia produtiva e o potencial comercial do produto final. Para tal se faz necessário cada vez mais produzir os dados para embasar discussões e comparações sobre rendimento de carcaça de espécies em processo de domesticação ou ainda selvagens.

O ambiente da várzea amazônica dificulta a implantação de industrias de processamento de carnes no modelo tradicional, dessa forma objetivamos desenvolver

um protocolo de abate *in-situ* para a produção de carne de jacarés de vida livre para consumo humano dentro dos padrões exigidos pelas normas, com métodos e técnicas para a produção em campo de carne de jacaré fresca para o consumo humano, estimar o rendimento de carcaça de jacaré-açu (*Melanosuchus niger*) e do jacaré-tinga (*Caiman crocodilus*) e identificar se há diferença no rendimento de carcaça entre os sexos.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Os jacarés analisados foram coletados na região norte da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Piagaçu Purus, localizada no interflúvio entre os rios Purus e Solimões (Figura 1), compreende uma extensa área de várzea com água característica de rios de origem andina, com grande quantidade de sedimentos (RÍOS-VILLAMIZAR; JUNIOR; WAICHMAN, 2011).

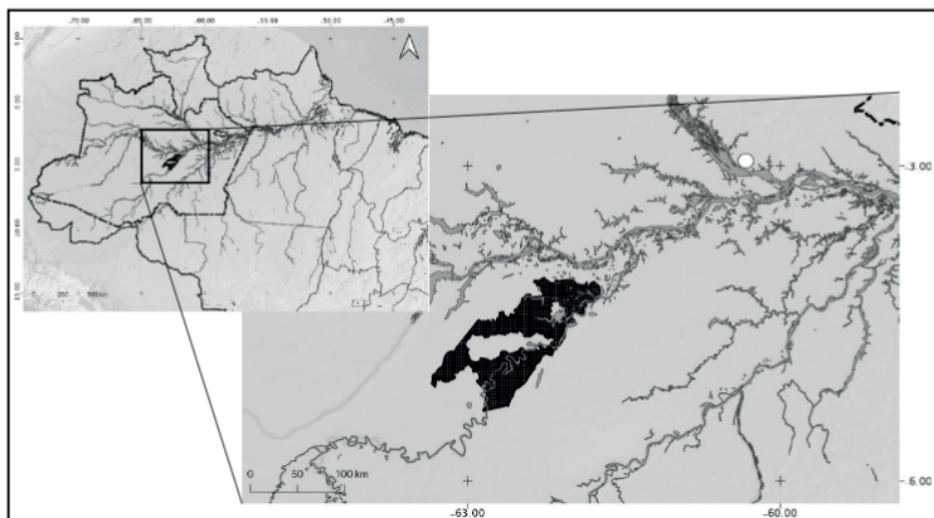



Figura 1: Área de estudo; Manaus (circulo branco), RDS-Piagaçu-Purus (polígono negro).

Os abates foram realizados no período de enchente e vazante de 2008, cheia de 2009 e enchente de 2010.

A infraestrutura denominada Base Amazônica de Processamento de Jacarés e Quelônios (BAJAQUEL) foi construída especificamente para a atividade de abate e processamento destes grupos animais na várzea amazônica. A base consta de plataforma de madeira maciça de 6 metros de largura e 10 metros de comprimento construída sobre duas boias de aço naval de 10 m cada. Seis pilares de ferro que sustentam o telhado com telhas de zinco abrigando três caixas de água de polietileno com capacidade de 500 l cada, interconectadas. Com instalação elétrica alimentada por gerador independente ou conectada a maquinaria de uma embarcação. A infraestrutura de abate necessita de apoio de um barco para o melhor funcionamento e naquela ocasião contou também com apoio de uma pequena casa flutuante. Estes três componentes flutuantes foram essenciais, uma

vez que as terras de várzea amazônica permanecem boa parte do ano submersa. E quando emersa geralmente estas terras são rapidamente cobertas por gramíneas.

A água utilizada em todas as etapas do processamento foi coletada nos corpos de água adjacentes ao Rio Purus por uma bomba d'água que lança a água sobre pressão por dentro de um filtro com dois compartimentos de filtragem, o primeiro preenchido com areia de filtragem, seguido por outro compartimento com carvão ativado e um filtro de celulose.

O protocolo para o tratamento da água foi ajustado, em tempo de passagem e circulação, até a obtenção da água com qualidade desejada. Para determinar a quantidade de barrilha (Carbonato de sódio) e sulfato de alumínio foi realizado o teste do jarro ou transparência e a quantidade de cloro foi determinada a partir das especificações técnicas do RIISPOA/MAPA utilizando equipamento para tratamento de piscinas.

Todas as atividades desenvolvidas neste Projeto primaram pelas Boas Práticas de Manejo e da conservação, com ênfase no abate humanitário.

Para a captura dos jacarés foram utilizados diversos métodos: Métodos Pouco Lesivos (cambão (*Ketch-All Animal Restraining Pole*) ou laço especial de cabo de aço (*Locking Cable Snares*) (DA-SILVEIRA, 2001); Arpão ou Anzol (MENDONÇA et al., 2016).

Os jacarés foram capturados durante a noite e peados com cordas nos membros anteriores e posteriores, com borracha elástica para manter a boca fechada e tiveram os olhos tapados com fita crepe para bloquear a visão com a finalidade de evitar lesões nos animais. Pela manhã os jacarés foram medidos com trena metálica, pesados com balança analógica e sexados pela visualização direta do pênis ou cliteropenis e então encaminhados para a planta de abate.

O abate foi realizado por concussão cerebral e seção medular, os animais tiveram o sangue drenado por 3 minutos, o volume e a massa do sangue foram medidos com proveta e balança analógica.

A obtenção da pele com fins de comercialização de couro não foi um objetivo deste trabalho, no entanto foram tomados cuidados para a retirada das peles nos moldes "hornback-skin" a fim de obter um protocolo que no futuro possa atender a exploração de ambos os produtos, carne e couro.

Para a retirada das vísceras foi tomado cuidado para evitar a contaminação da carne com as fezes e o conteúdo gastro-alimentar desde a cloaca até a boca.

As peças comestíveis (todas sem ossos) foram separadas em membros posteriores, membros anteriores, manta do corpo, manta da cauda, filé do lombo e filé da cauda.

Para o cálculo da massa de carne de jacarés foram utilizadas as mantas de carnes (sem ossos) obtidas do tronco (incluindo membros anteriores e posteriores desossados) e a carne da cauda.

Foi elaborado um modelo preditivo para estimar a massa de carne produzida (MCP) em função da massa corporal total (MCT) utilizando regressão linear seguindo a equação: $MCP = \alpha + b * MCT$ .

A Rendimento de Carcaça (RC) foi estimado a partir do percentual da Massa da Carne Produzida (MCP) em relação à Massa Corporal Total (MCT), representado pela equação: $RC = \frac{MCP}{MCT} * 100$ . Para identificar se houve diferença no rendimento de carcaça entre

os sexos foi utilizado o teste T de Student com nível de significância de 0,05 entre amostras.

As análises estatísticas foram realizadas no software R.

## 3 I RESUTADOS

### 3.1 Protocolos

Nos abates de 2008 a água utilizada passou por tratamento único com um sistema de filtros e posteriormente com passagem única por um dosador de Cloro. O mesmo sistema foi mantido em 2009.

No abate de 2010, o sistema foi recombinado, de forma a possibilitar a circulação da água pelo sistema de filtro por mais de uma vez com opção de filtragem ou recirculação da água.

Barrilha e sulfato de alumínio foram adicionados no sistema de tratamento de água em uma dosagem de 30 ppm e 70 ppm, respectivamente, conforme valores determinados a partir do teste de jarro realizado em campo.

Em virtude do espaço reduzido na base de processamento, as três caixas de 500 l serviram para a decantação, recirculação e armazenamento da água que foi utilizada. A água coletada do rio passou pelo sistema de tratamento sem ser filtrada e foi direto para as caixas d'água, onde sofreu a adição da barrilha e do sulfato de alumínio, sendo recirculada por 15 minutos sem o uso dos filtros, a fim de solubilizar e homogeneizar a água e os químicos.

Após 15 minutos de recirculação o sistema entrou em repouso por 30 minutos e somente então a água com a matéria floculada e decantada entrou em recirculação, passando pelo filtro de areia durante uma hora. E somente então a água iniciou o processo de recirculação somente através dos filtros de carvão ativado e celulose por uma hora. Após estas etapas o cloro foi adicionado com fins sanitários para obtenção de uma concentração final de 30 ppm, sendo a água tratada recirculada sem passagem pelos filtros por mais 15 minutos para homogeneizar a mistura.

Foram avaliados 68 jacarés de duas espécies, os jacarés capturados com anzol e arpão foram indivíduos aproveitados da caça comercial praticada na região, cedidos por pescadores locais que permitiram a coleta de amostras e dados dos jacarés capturados por eles por seus métodos tradicionais de caça. Assim sendo, os pescadores locais foram responsáveis pela captura de 45,2% dos jacarés-tinga e de 88,5% dos jacarés-açu analisados neste estudo.

Ao chegar à planta os jacarés foram colocados na área de lavagem, onde foram higienizados com água clorada sob alta pressão, detergente líquido neutro e escova, sendo contidos manualmente ou com auxílio de cambão (dependendo do porte do animal) sem os amarres. As etapas de higienização foram as seguintes: enxágue inicial, ensaboar, esfrega e enxágue final.

Após a higiene, e ainda contidos, os animais foram insensibilizados com dois golpes de marreta de 3 kg no crânio na região do osso frontal.

Percebida a insensibilização dos animais, quando não esboçavam reação de fuga

com o “afrouxamento” da contenção, os animais receberam um corte com faca na região do seio occipital a fim de efetuar a sangria e o desligamento da primeira vértebra cervical do osso occipital (crânio) e a secção da medula espinhal. Os animais foram pendurados no tendal pela parte posterior com um gancho que foi inserido na ponta da cauda.

Após a sangria foi realizada uma nova higienização, apenas com água clorada não pressurizada no sentido da cauda para a cabeça, com ênfase na área do corte para a sangria.

Foi avaliado o volume de sangue de 8 jacarés-açu abatidos que variou de 150ml a 553ml (média=262,4ml e DP=130,3ml), a massa do sangue de 15 jacarés-açu avaliados variou de 35g a 570g (média=231,6g e DP=122,5g), representando entre 0,17% e 1,5% do peso do animal (média=0,96% e DP=0,36%).

Foi avaliado o volume de sangue de 11 jacarés-tinga abatidos que variou de 70ml a 240ml (média=123,8ml e DP=44,2ml), a massa do sangue de 18 jacarés-tinga avaliados variou de 86g a 184g (média=128,6g e DP=29,7g), representando entre 0,55% e 1,8% do peso do animal (média=1,24% e DP=0,40%).

A esfola foi iniciada com um corte dorsal em sentido caudo–cranial e com descolamento da pele. Na altura dos membros foi feito um corte do dorso para a ponta das patas. Na altura da articulação das patas dianteiras e traseiras foi destacada a pele com um corte circular, e as patas foram separadas e descartadas. O corte dorsal e o descolamento da pele são continuados até a altura do corte de sangria, onde a cabeça foi separada e a pele descolada do corpo.

Após a retirada da pele foi feito um enxágue com água clorada na carcaça sem a pele e então iniciada a evisceração com um corte sagital ventral da pelve até o pescoço onde foi separada a cabeça. Com a abertura da cavidade celomática e exposição das vísceras foi finalizado o descolamento da cloaca que foi passada através da pelve e retirada manualmente com o restante das vísceras, as quais foram colocadas em uma bacia de descarte e destinadas para outro recinto.

A carcaça foi novamente enxaguada com água clorada para a retirada dos restos de sangue que eventualmente surgiram na cavidade. Foi feito um corte para separação da ponta da cauda que resta com couro a qual estava sustentando o animal no gancho e a carcaça limpa, sem pele e nem vísceras foi colocada em uma mesa de metal higienizada.

Na mesa, foi iniciada a separação das mantas de carne. Com um corte que iniciava paralelo à crista das vértebras e seguia descendo separando a carne dos ossos das costelas, dos ossos pélvicos, dos ossos escapulares e dos ossos da cauda formando uma manta de metade do corpo. Dessa manta foi separado o filé da cauda e o filé do lombo, que são considerados como os cortes mais nobres (KLUCZKOVSKI-JUNIOR et al., 2015).

## 3.2 Rendimento de carcaça

### *Jacaré-açu*

O rendimento de carcaça para *M. niger* não apresentou diferença entre sexos, portanto foram analisadas conjuntamente (p=0,8).

A massa total corporal de 26 indivíduos de *M. niger* amostrados variou de 13,0

a 205,0 kg (média = 37,9, DP = 40,2), e a massa de carne produzida pelos respectivos indivíduos variou de 4,9 a 101,9 kg (média = 16,1, DP = 19,4). A relação entre a massa corporal total (MCT, em kg) e a massa de carne (MCP, em kg) para a *M. niger* foi descrita pela seguinte equação de regressão: MPC de M.niger = -1,942 + 0,477 * MCT ($r^2$ = 0,977, $F_{1,24}$ = 1007, $P$ < 0,001). O rendimento de carcaça variou de 28,5 a 50,3% (média = 40,9, DP = 6,1) (Figura 3).

### *Jacaré-tinga*

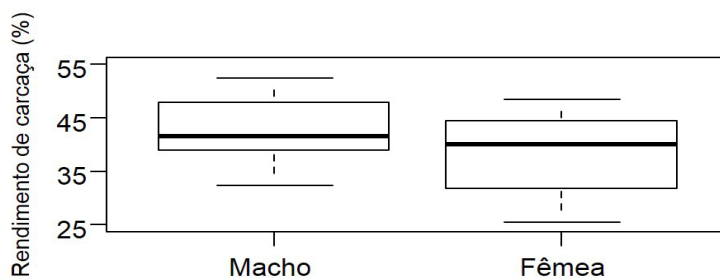
O rendimento de carcaça entre machos e fêmeas de *C. crocodilos* apresentou diferença significativa (p<0,05), portanto foram analisados separadamente (Figura 2).



Figura 2 - Diferênça entre o rendimento de carcaça de machos e fêmeas de Caiman crocodilus.

A massa total corporal dos 28 indivíduos de *C. crocodilus* machos amostrados variou de 4,6 a 41,0 kg (média = 16,4, DP = 9,1), e a massa de carne produzida pelos respectivos indivíduos variou de 1,7 a 21,5 kg (média = 7,2, DP = 4,4). A relação entre a massa corporal total (MCT, kg) e a massa de carne produzida (MCP, kg) para a *C. crocodilus* foi descrita pelo seguinte modelo de regressão: MCP de *C.crocodilus macho* = -0,464 + 0,466 * MCT ($r^2$ = 0,935, $F_{1,26}$ = 375,6, $P$ < 0,001). O rendimento de carcaça, variou de 32,4 a 52,4% (média = 43,1, DP = 5,6) (Figura 3).

A massa total corporal dos 14 indivíduos de *C. crocodilus* fêmeas amostradas variou de 6,1 a 15,4 kg (média = 9,9, DP = 2,8), e a massa de carne produzida pelos respectivos indivíduos variou de 1,6 a 6,6 kg (média = 3,9, DP = 1,5). A relação entre a massa corporal total (MCT) e a massa de carne produzida (MCP, kg) para a *C. crocodilus* fêmeas foi descrita pelo seguinte modelo de regressão: MCP de *C.crocodilus Fêmea* = -0,448 + 0,449 * MCT ($r^2$ = 0,722, $F_{1,12}$ = 31,12, $P$ < 0,001). O rendimento de carcaça, variou de 25,5 a 48,5% (média = 37,9, DP = 8,2) (Figura 3).

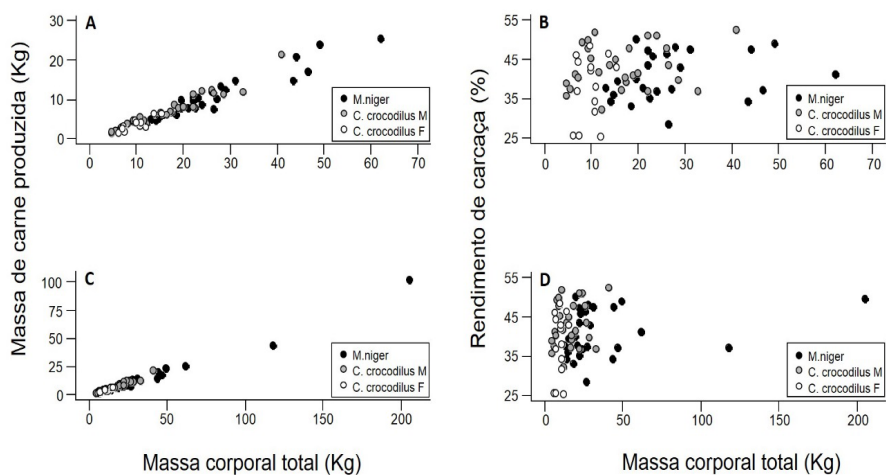



Figura 3 - Massa de carne produzida e rendimento de carcaça em função da massa corporal total; A e B- apresenta animais menores que 70 Kg; C e D- apresentam todos os indivíduos.

## 4 I DISCUSSÃO

O protocolo de tratamento de água apresentado é um modelo inovador para aplicação em micro indústrias de comunidades ribeirinhas. Um dos maiores gargalos para a tecnologia de alimentos no interior da Amazônia é a obtenção de água em quantidade e com a qualidade necessária aos processos tecnológicos. Especialmente nos casos das várzeas, onde a água tipificada como "branca" é riquíssima em material particulado de origem andina (RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2012; RÍOS-VILLAMIZAR; JUNIOR; WAICHMAN, 2011).

Giatti (2007) discorre sobre as dificuldades que uma cidade amazônica enfrenta para a obtenção de água de qualidade, ainda que possua uma fonte de recurso hídrico abundante e de água preta, consequentemente com pouco material sólido em suspensão (RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2012).

Apesar de existirem sistemas de filtração muito eficientes e de baixo custo, o sistema usado por nós se mostra como uma alternativa com boa relação custo benefício, principalmente devido a praticidade do sistema e a quantidade de água tratada capaz de produzir. Caso existisse na estrutura um tanque de capacidade adequada a decantação, e exclusivo para tal finalidade, a qualidade da água tratada seria superior, bem como o gasto energético da operação menor. O grande desafio da proposta do tratamento de água aplicado na BAJAQUEL ocorreu em partes pelo reduzido tamanho da área operacional, os dados obtidos servem como um supedâneo de grande valor para novos experimentos.

Paterniani e Conceição (2004) mostraram grande eficiência em um sistema simples de filtragem, no entanto a capacidade de filtração por hora seria insuficiente para abastecer uma planta de produção com fluxo de produção diário. Além de necessitar de manutenção mais frequente e complexa para limpeza dos filtros com uma fonte de captação de água como corpos hídricos adjacentes ao rio Purus.

Existem alternativas para a captação de água de qualidade para consumo humano, como a sondagem de poços tubulares que podem prover água de qualidade quando bem projetados e construídos. A coleta de água subterrânea é uma alternativa viável, no entanto podem ser contaminados e oferecer água de qualidade inadequada para consumo quando possuem falhas técnicas que permitam a contaminação (AZEVEDO, 2006).

Como a água utilizada foi oriunda dos corpos hídricos adjacentes ao rio principal, podem haver componentes nitrogenados oriundos dos processos biológicos intrínsecos a estes ambientes (AZEVEDO, 2006; ESTEVES, 1998). A amônia ($NH_4$), o nitrito ($NO_2$) e o nitrato ($NO_3$) podem ser encontrados em águas fluviais, porém Ríos-Villamizar et al. (2011) identificaram baixos teores destes compostos na bacia do rio Purus durante diferentes períodos hidrológicos. Filtros de carvão foram usados com sucesso em ambientes muito contaminados com nitrato que os valores encontrados na bacia do rio Purus, indicando um bom meio para eliminar os compostos nitrogenados (Valim-Júnior et al., 2015).

Além dos contaminantes abióticos, outro gargalo para a produção de água e alimento seguros ao consumo humano são os contaminantes bacteriológicos, principalmente do grupo Coliformes e dos gêneros *Staphylococcus spp*. e *Salmonella spp*.. O sistema de tratamento de água utilizado pela BAJAQUEL, associada com as boas práticas de manejo sanitário possibilitaram ao longo do projeto estabelecer um protocolo eficiente para a produção de alimento seguro. Sotero-Martins et al. (2015) utilizando amostras oriundas da BAJAQUEL mostraram que após os ajustes no protocolo e prática nos procedimentos, 100% das amostras apresentaram características bacteriológicas dentro dos níveis exigidos pela legislação vigente.

A eliminação de macromoléculas e compostos nitrogenados, associada à aplicação de cloro na água e a elaboração de um protocolo baseado nas boas práticas com alimentos possibilitou a produção de alimento sanitariamente seguro e nutricionalmente rico (COSSU et al., 2007).

O rendimento de carcaça dos *M. niger* analisados foi menor que o rendimento de carcaça da mesma espécie estimado por Kluczkovski-Junior et al. (2015) para jacarés de ambiente semelhante ao ambiente onde se instalou a BAJAQUEL, os resultados obtidos na BAJAQUEL podem haver diferido devido ao efeito do nível do rio e a disponibilidade de alimento durante o período de coleta, uma vez que os jacarés de áreas alagáveis apresentam variação alimentar junto à variação do nível do corpo hídrico (DA SILVEIRA; MAGNUSSON, 2008).

O jacaré tinga apresentou rendimento de carcaça intermediário em relação a estudos realizados com jacarés do pantanal (FERNANDES, 2011; MEDEIROS et al., 2017), no entanto, os abates da BAJAQUEL priorizaram a heterogeneidade dos lotes, diferente dos princípios adotados por criadouros comerciais que preferem a homogeneidade dos lotes com indivíduos juvenis.

Pelo relativo pioneirismo, principalmente pelo fato deste ter sido o primeiro esforço para sistematizar protocolo de conduta para abate de jacarés in situ, a BAJAQUEL mostrou que é possível obtermos carne de qualidade com rendimentos equivalentes aos obtidos pelos caçadores de jacarés que abastecem o comércio ilegal (MENDONÇA et al., 2016).

A BAJAQUEL é um instrumento com sistema eficiente e de baixo custo (quando

comparada a frigoríficos e abatedouros tradicionais) que pode ser implementado para obtermos uma cadeia produtiva de jacarés mais justa em áreas de manejo de jacarés além de agregar valor econômico, social e ambiental nos produtos obtidos.

## 5 I CONCLUSÃO

O protocolo se mostrou eficiente demonstrando que o rendimento da carcaça foi similar a outros crocodilianos analisados em outras regiões do mundo e também muito próximo aos animais domésticos de produção de carne. O protocolo de tratamento de água e processamento das carcaças gerou um produto de boas condições sanitárias que, considerando os movimentos em prol de produtos artesanais e locais, tem grandes chances de com a simplificação dos modelos sanitários atingirem satisfatoriamente os mercados consumidores.

## REFERÊNCIAS


AZEVEDO, R. P. DE. **Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central**. Acta Amazonica, v. 36, n. 3, p. 313–320, 2006. ~

COSSU, M. E.; GONZÁLEZ, O. M.; WAWRZKIEWICZ, M.; MORENO, D.; VIEITES, C. M.. **Carcass and meat characterization of “yacare overo” (caiman latirostris) and “yacare negro” (caiman yacare)**. Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science, v. 44, n. 5, p. 329–336, 2007.

DA-SILVEIRA, R. **Monitoramento, Crescimento e Caça de Jacaré-Açu (Melanosuchus niger) e de Jacaré-Tinga (Caiman crocodilus crocodilus)**. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisa na Amazônia, 2001.

DA-SILVEIRA, R.; THORBJARNARSON, J. B. **Conservation implications of commercial hunting of black and spectacled caiman in the Mamiraua Sustainable Development Reserve, Brazil**. Biological Conservation, v. 88, n. 1, p. 103–109, 1999.

DA SILVEIRA, R. **Avaliação preliminar da distribuição, abundância e da caça de jacarés no Baixo Rio Purus. Piagaçu-Purus: bases científicas para a criação de uma Reserva de Desenvolvimento Sustentável**, p. 100, 2003.

DA SILVEIRA, R.; MAGNUSSON, W. E. **Diets of Spectacled and Black Caiman in the Anavilhanas Archipelago , Central Amazonia , Brazil**. v. 33, n. 2, p. 181–192, 2008.

ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed.Rio de Janeiro. Editora Interciência. 1998.

FERNANDES, V. R. T. **Caracterização e processamento da carne de jacaré-do-pantanal (Caiman yacare): composição físico-química e rendimento**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade do Estado do Paraná, 2011.

GIATTI, L. L. **Reflexões sobre água de abastecimento e saúde pública: um estudo de caso na Amazônia brasileira. Saúde e Sociedade**, v. 16, n. 1, p. 134–144, 2007.

KLUCZKOVSKI-JUNIOR, A.; KLUCZKOVSKI, A. M.; MORONI, F. T.; MARKENDORF, F.;INHAMUNS, A. J.. **Carcass yield and proximate composition of black caiman (Melanosuchus niger) meat**. International Journal of Fisheries and Aquaculture, v. 7, n. 4, p. 47–53, 30 abr. 2015.

MARIONI, B.; MÜHLEN, E. VON; DA-SILVEIRA, R. **Monitoring caiman populations subject to high commercial hunting in the Piagaçu-Purus sustainable development reserve, Central Amazonia, Brazil**. CROCODILE SPECIALIST GROUP NEWSLETTER, v. 26, n. Janeiro-Março, p. 7–8, 2007.

MEDEIROS, N. B. C.; ALMEIDA, E. V. X.; AMARAL, M. C. F; MORAIS, D. H.; RODRIGUES, M. D. N.. **Rendimento de carcaça e cortes comerciais de Caiman yacare criados em sistema ranching na Amazônia Legal**.In: IV Congresso de Zootecnia da Amazônia p. 14–17, 2017.

MENDONÇA, W. C. S.; MARIONI, B.; THORBJARNARSON, J. B.; MAGNUSSON, W. E.; DA-SILVEIRA, R.. **Caiman hunting in Central Amazonia, Brazil. The Journal of Wildlife Management**, v. 80, n. 8, p. 1497–1502, nov. 2016.

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z. DA. **Eficiência da Pré-Filtração e Filtração Lenta no Tratamento de Água para Pequenas Comunidades**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 1, p. 17–24, 2004.

VALIM-JUNIOR, N. C. ; REZENDE, D.; MANTOVANI D.; BERGAMASCO, R.; SILVA, H. V.; YAMAGUCHI, N. U.. **AVALIAÇÃO DE NITRATO NAS ÁGUAS PROVENIENTES DE FONTES SUBTERRÂNEAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO BORBA GATO, MARINGÁ - PR.** In: IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar. 2015

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; CARVALHO, T. M.; JUNK, W. J.. **Improvement of a Major Naturally-Occurring amazonian lowland wetlands classification by means of the classical knowledge of river water hydrochemistry**: Major citations. Proceedings of International Conference on Traditional Knowledge for Water Resources Management (TKWRM2012). Anais...Yazd, Iran: 2012.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; JUNIOR, A. F. M.; WAICHMAN, A. V. **Caracterização Físico-Química Das Águas E Desmatamento Na Bacia Do Rio Purus , Amazônia Brasileira Ocidental**. Rev. Geogr. Acadêmica, v. 5, p. 54–65, 2011.

SOTERO-MARTINS, A.; KLUCZKOVSKI-JUNIOR, A.; MARKENDORF, F.; MARIONI, B.; COIMBRA, R. F.; FREIRE, G. M.; DA-SILVEIRA, R.. **Riscos na qualidade sanitária da carne de jacaré da Amazônia Central Sanitary risk assessment for caiman meat quality in Central Amazon**. v. 3, n. 4, p. 99–105, 2015.

# NUTRIÇÃO E MANEJO ALIMENTAR DE PEIXES AMAZÔNICOS

## SEÇÃO C

# CAPÍTULO 10

# UTILIZAÇÃO DE ALIMENTADORES DE AUTO-DEMANDA: UMA REVISÃO E POTENCIAL USO PARA PEIXES AMAZÔNICOS

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Bruno Olivetti de Mattos**
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas – Bahia
https://orcid.org/0000-0002-8341-8423

**William Alemão Saboia**
Universidade Nilton Lins
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/9803111927718090

**Eduardo César Teixeira Nascimento Filho**
Bahia Pesca S/A
Salvador – Bahia
http://lattes.cnpq.br/8302186669526295

**Aline dos Anjos Santos**
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Salvador – Bahia
http://lattes.cnpq.br/4228705464268394

**Kayck Amaral Barreto**
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas – Bahia
http://lattes.cnpq.br/5382545877381730

**Guilherme Wolff Bueno**
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Centro de Aquicultura
Registro – São Paulo
https://orcid.org/0000-0002-1160-020X

**Rodrigo Fortes-Silva**
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa – Minas Gerais
https://orcid.org/0000-0003-0763-4500

**RESUMO:** A alimentação de organismos aquáticos sempre foi um "dilema" para pesquisadores e produtores, visto que não é possível disponibilizar o alimento como é feito para animais terrestres, permitido o uso mais homogêneos dos nutrientes durante a fase de alimentação. A implementação de alimentadores de auto-demanda "self feeders" na alimentação de peixes, apresenta uma alternativa inovadora, pois permite aos peixes regular o consumo pelo horário que o peixe aciona os alimentadores. A presente revisão tem o objetivo de descrever o funcionamento do sistema de autoalimentacao e discutir sobre a aplicabilidade e viabilidade do mesmo e seu uso para espécies de peixes amazônicas.

**PALAVRAS-CHAVE**: aquicultura, peixes amazonicos, auto-alimentação, frquencia alimentar, taxa de alimentação.

## USE OF SELF-DEMAND FEEDERS: A REVIEW AND POTENTIAL USE FOR AMAZONIAN FISH

**ABSTRACT:** The implementation of self-feeding feeders in fish feed presents a viable alternative for the best nutrition of fish in aquaculture systems, since this technique allows fish to regulate and reduce feed waste, providing food on schedule That the fish wants to feed, consuming the consumption and the productive indexes, since, with the greater number of feeds during the day, the nutrient digestibility indexes are optimized, positively influenced the nutrient efficiency in the animal metabolism. Thus, the use of feeders opens up new perspectives in aquaculture with emphasis on feeding strategies, promoting food planning in relation to preference and nutritional behavior, as well as increasing efficiency in aquaculture management and discuss the applicability and feasibility of the same and its use for species of

Amazonian fish.
**KEYWORDS:** aquaculture, amazonian fish, self-feeding, self-feeder, feeding behavior.

## 1 | INTRODUÇÃO

A alimentação pode ter um impacto significativo sobre o sucesso da aquicultura (TIAN et al., 2015; XIE et al., 2011). Contudo, poucos avanços sobre sistemas de alimentação ocorreram desde que a aquicultura brasileira foi consolidada. A alimentação clássica de peixes consiste na oferta do alimento e consequentemente a observação da saciedade dos peixes pelo tratador, geralmente um número pré-determinado de refeições fornecidas por dia (CHO, 1992). No entanto, este conceito pode ser subjetivo. Além disso, considera-se que a maioria das tabelas de alimentação disponíveis tendem disponibilizar um pouco mais aimento do que os peixes realmente necessitam, resultando em excessos alimentares, poluição do ambiente e baixa eficiência alimentar (CHO, 1992). Horários de alimentação dos peixes são frequentemente estabelecidos pelos gerentes das propriedades, dando preferência aos horários e a carga horária dos funcionários (KOTANI; FUSHIMI, 2011). Nos experimentos clássicos de alimentação de peixes, a taxa e frequência de arraçoamento não levam em consideração o comportamento alimentar dos peixes, mas apenas parâmetros de desempenho.

O sistema de alimentação de auto demanda ou autoalimentacao é uma importante ferramenta para o estudo de ritmos de alimentação considerando exclusivamente o comportamento dos peixes (ADRON; GRANT; COWEY, 1973; AZZAYDI et al., 1998; BEACH; BAKER; ROBERTS, 1986; BOUJARD; LEATHERLAND, 1992; GROVE; LOIZIDES; NOTT, 1978; KITAGAWA et al., 2015; LANDLESS, 1976; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1994; TAKAHASHI; MURACHI; MORIWAKI, 1981). O sistema também pode reduzir o desperdício de alimentos, fornecendo alimento no momento exato em que o peixe realiza a demanda no alimentador (MONTOYA; ZAMORA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012). Para estudos em laboratórios, os alimentadores podem ser acoplados a um sistema computacional, permitindo a gravação contínua do comportamento alimentar, incluindo a frequência e horário dede preferências alimentares.

Por outro lado, os peixes apresentam uma grande variedade de comportamento alimentar, em comparação com animais terrestres. De acordo com essa variabilidade, os peixes são considerados bons modelos experimentais para estudar a regulação do consumo de alimentos e até mesmo nutrientes (VOLKOFF; PETER, 2006). De acordo com SIMPSON & RAUBENHEIMER, (2001), os peixes são capazes de regular a ingestão de nutrientes, apresentando um alvo nutricional, ou seja, são capazes de regular o consumo de nutrientes específicos. Estudos anteriores demostram a capacidade dos peixes em regular a ingestão energética (*Salmo salar*, PASPATIS & BOUJARD, 1996) o que é considerado uma capacidade inerente a praticamente todos os animais domésticos. Contudo outros estudos avaliaram esta capacidade de regulação para vários outros nutrientes. como o zinco (*Oncorhynchus mykiss*, CUENCA et al., 1993), a taurina (*Dicentrarchus labrax*, BROTONS-MARTINEZ et al., 2004), as fontes de óleo (*Oreochromis niloticus*, FORTES-SILVA et al., 2010a), a metionina/treonina/triptofano (*Oreochromis niloticus*, FORTES-SILVA et al., 2012) e os macronutrientes como proteínas, gorduras e carboidratos (FORTES-

SILVA; KITAGAWA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016). Muitos destes estudos, foram realizados considerando sistema de autoalimentacao. Desta forma, tal sistema vem contribuindo para o entendimento comportamental e nutricional dos peixes.

Para alguns autores, as investigações relacionadas com a livre escolha pelos peixes, torna-se fundamental para o conhecimento do seu comportamento, mas tambem possui um viés relacionado ao bem-estar já que os animais se alimentam por suas escolhas (VOLPATO; GONÇALVES-DE-FREITAS; FERNANDES-DE-CASTILHO, 2007). Os benefícios dos estudos comportamentais dos peixes por sistemas de autoalimentacaopodem também relacionar-se de forma direta com o metabolismo dos peixes (BOUJARD; LEATHERLAND, 1992), por exemplo com o ritmo diário da produção de enzimas digestivas (LÓPEZ-VÁSQUEZ; CASTRO-PÉREZ; VAL, 2009), ou ainda revelar diferenças nas taxas de digestibilidade e síntese de proteínas para a formação de tecido muscular (BOLLIET et al., 2000; GÉLINEAU et al., 1996).

Quando são fornecidas dietas completas com todos os nutrientes em uma única formulação, os peixes só possuem a escolha de aumentar ou diminuir a ingestão dos nutrientes para alcançar o alvo nutricional e assim cumprir a meta do nutriente específico a ser ingerido (FORBES, 2001). Esta abordagem é conhecida como visão dimensional da nutrição (SIMPSON; RAUBENHEIMER, 2001). Embora vários estudos tenham demonstrado a capacidade de peixes para selecionar dietas, poucos estudos abordaram esta temática em peixes tropicais de água doce.

Por outro lado, o comportamento alimentar em peixes merece devida consideração, especialmente para espécies recentemente introduzidas na aquicultura (LÓPEZ-OLMEDA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2010; MADRID; BOUJARD; SANCHEZ-VAZQUEZ, 2001). Os padrões de alimentação apresentam variação entre as diversas espécies de peixes e seus estágios de desenvolvimento, bem como um elevado grau de flexibilidade ou mudança comportamental (BOUJARD; LEATHERLAND, 1992; HOULIHAN; BOUJARD; JOBLING, 2007). Por exemplo, a *Oreochromis niloticus*, que tem sido descrita como um peixe que apresenta plasticidade no comportamento alimentar (FORTES-SILVA et al., 2010a; TOGUYENI et al., 1997; VERA et al., 2009).

O advento dos alimentadores de auto-demanda permitiu estudos mais precisos, sobre como os animais poderiam regular a ingestão de nutrientes (ADRON; GRANT; COWEY, 1973) e esse sistema permite que a alimentação seja realizada no momento exato que o peixe necessite de alimento, reduzindo um possível viés do efeito de uma calendário alimentar em horário fixo (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1996).

Desse modo, apesar de vários estudos terem demonstrado a capacidade dos peixes em apresentarem ritmos alimentares, ainda são escassos estudos com peixes amazônicos. Contudo, estas espécies podem ser utilizadas como ferramenta de diversos estudos ainda iniciais, o que poderia promover em um futuro próximo, a maximização da produção aliada a tecnificação nos sistemas de produção. Durante a revisão deste capítulo, iremos falar com maiores detalhes sobre esse sistema e os potenciais usos das espécies amazônicas nestes sistemas que utilizam a tecnificação para melhorias produtivas.

## 2 I ALIMENTADORES DE AUTO-DEMANDA "SELF-FEEDERS" E SUAS IMPLICAÇÕES

As pesquisas de bem-estar de peixes estão cada vez mais atuantes (ATTIA et al., 2012; DAVIE; KOPF, 2006; EFSA, 2009; HUNTINGFORD, 2006; OLDFIELD, 2011; SLOMAN et al., 2011), e no caso de peixes se torna fundamental o conhecimento acerca de seu comportamento (BAYARRI et al., 2004; DEL POZO et al., 2012; FARIA; ALMADA, 2008; FARNER, 1985; HELM et al., 2013; HURD et al., 1998; KUMAR BAGHEL; ATANU; PATI, 2015; NOBLE et al., 2007; VERA et al., 2009, 2009), dentre estes o alimentar (FAST; QIN; SZYPER, 1997; HERRERO et al., 2005; MATTOS et al., 2016a, 2016b; NAVARRO-GUILLÉN; YÚFERA; ENGROLA, 2017; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1996; SANCHEZ-VAZQUEZ; TABATA, 1998), de modo que testes de preferência de alimentação se tornam importantes elos do conhecimento para entendimento desses animais (ASHLEY, 2007; ATTIA et al., 2012; FORTES-SILVA; KITAGAWA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016; HUNTINGFORD, 2006; POLI et al., 2005; VOLPATO, 2007; VOLPATO; GONÇALVES-DE-FREITAS; FERNANDES-DE-CASTILHO, 2007).

Com este conceito, têm-se buscado aprimorar o manejo alimentar, identificando na natureza o padrão que os animais desenvolvem, replicando esses conhecimentos para a melhor alimentação e investigando as necessidades biológicas e metebólicas (ARJONA et al., 2009; COSTAS et al., 2011; GAYE-SIESSEGGER et al., 2007; LI et al., 2017; NAVARRO-GUILLÉN; YÚFERA; ENGROLA, 2017; PAREDES et al., 2014; POLAKOF et al., 2012). Assim, o comportamento alimentar é um conceito que se deve levar em conta (BRÄNNÄS; STRAND, 2015; CARLBERG et al., 2015; KENTOURI, 1999; LUZ et al., 2017; TWIBELL et al., 2012), e é neste sentido, que se torna indispensável este entendimento, uma vez que, técnicas que buscam desenvolver o conhecimento alimentar podem proporcionar melhorias no manejo e no cultivo desses organismos, como é o caso da auto-alimentação, que configura-se uma importante ferramenta neste processo, pois, é a habilidade que os peixes possuem na assimilação do aprendizado de selecionar os alimentos (ALMAIDA-PAGÁN et al., 2006; FLOOD et al., 2010, 2011; FORTES-SILVA; MARTÍNEZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2011; MATTOS et al., 2016b; NAVARRO et al., 2009; RUBIO et al., 2004, 2004; RUBIO; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; MADRID, 2003a; SANTOS et al., 2016).

Portanto, o sistema de auto alimentação tornou-se uma ferramenta útil para avaliar os ritmos alimentares de peixes e preferências alimentares (AZZAYDI et al., 1998; MONTOYA; ZAMORA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012). Diferentes autores têm desenvolvido vários dispositivos acoplados a computadores para tais pesquisas, usando sensores eletrônicos (BOUJARD et al., 1992), sensores de estiramento (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1994) e fotocélulas infravermelho para detectar demandas alimentares (KITAGAWA et al., 2015). Ao longo dos anos, esses sistemas têm auxiliado a desenvolver protocolos de alimentação com design eficaz, evitando o desperdício de ração e melhorando a utilização dos alimentos pelos peixes (CHO, 1992; FORTES-SILVA; KITAGAWA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016).

Dessa forma, essa técnica permite aos peixes, regular e diminuir o desperdício de ração, pois fornece alimento no horário exato que o peixe deseja se alimentar, efetivando o consumo e os índices produtivos, pois com o maior número de alimentações ao longo do dia, os índices de digestibilidade dos nutrientes são otimizados, influenciado de modo

positivo a eficiência dos nutrientes no metabolismo animal (FLOOD et al., 2010, 2011; FORTES-SILVA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012; HEILMAN; SPIELER, 1999; MATTOS et al., 2016b; MONTOYA; ZAMORA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012; NAVARRO et al., 2009; PASPATIS; BOUJARD, 1996; RUBIO et al., 2004; SHI et al., 2016; YAMAMOTO et al., 2002).

Portanto, em estudos com diferentes espécies de peixes, foi possível observar a capacidade dos animais em ativar o alimentador de auto demanda e assim compor um ritmo específico de alimentação, sendo pela primeira vez estudo este tipo de sistema nas espécies de peixes amazônicas, como é no caso o pirarucu (*Arapaima gigas*) (ARANDA et al., 2000; BISWAS et al., 2016; CUENCA; DE LA HIGUERA, 1994; FAST; QIN; SZYPER, 1997; MADRID; BOUJARD; SANCHEZ-VAZQUEZ, 2001; MATTOS et al., 2016a; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1994, 1998a), porém, em algumas estações do ano o ritmo alimentar pode variar (BOLLIET; ARANDA; BOUJARD, 2001; BOUJARD; LEATHERLAND, 1992; KULCZYKOWSKA, 2010; REEBS, 2002; VOLKOFF; HOSKINS; TUZIAK, 2010). *Oncorhynchus masou masou* apresentou ritmo diruno com alguns picos nos períodos crepusculares (FLOOD et al., 2011), já *Dicentrarchus labrax* apresentou ritmo de alimentção diurno e noturno (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1998b; SANCHEZ-VÁZQUEZ; MADRID; ZAMORA, 1995), *Tinca tinca*, *Oreochromis niloticus* e *Silurus glanis* apresentaram comportamento alimentar noturno (BOUJARD, 1995; FORTES-SILVA et al., 2010b; HERRERO et al., 2005) e *Trachinotus carolinus*, *Arapaima gigas*, *Carassius auratus* e *Nothobranchius korthausae* são peixes com ritmo alimentar diurno (HEILMAN; SPIELER, 1999; LUCAS-SÁNCHEZ et al., 2011; MATTOS et al., 2016a; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1996).

Em relação ao comportamento alimentar dos peixes, este está diretamento relacionado a três fatores, o ecológico, o comportamental e a regulação endócrina (MACKENZIE; VANPUTTE; LEINER, 1998; VOLKOFF; HOSKINS; TUZIAK, 2010; VOLKOFF; PETER, 2006), sendo que cada espécie ou grupo de peixe apresenta um hábito alimentar específico. Segundo os mesmos autores, de acordo com essa variabilidade de hábitos, os peixes são modelos experimentais de estudo para regulação do comportamento alimentar. Os peixes desenvolveram capacidade de buscar de acordo com suas necessidades de ingestão, nutrientes específicos que possam compor sua dieta (RAUBENHEIMER; SIMPSON, 1999; SIMPSON et al., 2004; SIMPSON; RAUBENHEIMER, 2001). Essa capacidade é certificada em estudos, já citados nesta revisão, em que peixes compõem dietas nutricionlamente equilibradas e regulam a ingestão energética usando alimentadores de auto demanda, demonstrando a habilidade em selecionar dietas a partir de combinações de macronutrientes, obtendo assim os nutrientes necessários para seu desenvolvimento (RAUBENHEIMER; SIMPSON, 1999; SIMPSON et al., 2004; SIMPSON; RAUBENHEIMER, 2001).

Assim sendo, a seleção de dietas foi pesquisado inicialmente utilizando alimentadores a demanda (ADRON; GRANT; COWEY, 1973), oportunizando aos peixes selecionarem macronutrientes específicos. Adaptações ao longo dos anos foram necessárias, para possibilitar melhor adequação do método as diferentes espécies de peixes e também para peixes de menor tamanho, que são incapazes de acionar os alimentadores. Ainda, a popularização do uso de computadores nos anos oitenta e noventa, permitiu que novos

sistemas fossem desenvolvidos para registrar com precisão a atividade de demanda alimentar dos peixes, assegurando um monitoramento da preferência e comportamento alimentar eficiente (CUENCA; DE LA HIGUERA, 1994; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1994).

De acordo com SIMPSON & RAUBENHEIMER, (2001), a técnica de auto-alimentação é uma prática bem sucedida e aplicável aos estudos de seleção de dietas, sendo uma estratégia importante para investigação da preferência nutricional em peixes, na qual se baseiam na proposição de RICHTER, (1922), denominada “sabedoria nutricional”. Essa proposição esta relacionada ao ato dos animais selecionarem dietas que atendam as necessidades nutricionais e que não seja um fenômeno aleatório, mantendo o equilíbrio metabólico do animal. Assim, a escolha de uma dieta está relacionada aos efeitos benéficos que esta pode promover, fazendo com que a seleção seja determinada pelo *status* metabólico.

Por meio dessa estratégia, realizaram-se estudos investigando em muitas espécies de peixes a habilidade em selecionar dietas, em função de seus hábitos alimentares. Assim, diversas pesquisas foram realizadas utilizando esta técnica, como estudos com o *Solea senegalensis*, que foi possível observar a capacidade de seleção de dietas deste peixe, contendo 68,00% de proteína (P), 16,30 % de carboidrato (C) e 15,70 % de lipídio (L) (RUBIO et al., 2009), já para a *Oncorhynchus mykiss* foi observado a seleção de 63,80% de P, 17,70% de C e 18,50% de L (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1999) e para o *Dicentrarchus labrax* foi constatado 55,00% de P, 23,00% de C e 22,00% de L (RUBIO; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; MADRID, 2003b), sendo essas espécies de peixes carnívoras. Quando pesquisado o comportamento alimentar de espécies onívoras, a seleção das dietas pelos peixes, apresenta alvo nutricional diferente em relação aos carnívoros, como é o caso da *Oreochromis niloticus*, que demonstrou selecionar 45,40% de P, 32,20% de C e 22,40% de L (FORTES-SILVA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012), e o *Carassius auratus*, que selecionou 18,90% de P, 47,40% de C e 33,80% de L (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1998a). Como citado anteriormente, pela primeira vez este estudo foi desenvolvido com o pirarucu (MATTOS et al., 2016b), sendo que esta espécie de peixe apresentou a seguinte forma de seleção de nutrientes: 56,3% P, 24,2% C, 19,5% L e consumiram 150-151 kJ/kg PC/dia de energia. Ainda, para verificar o hábito alimentar carnívoro da espécie, foi feito dois desafios para verificar se os peixes sustentavam a ingestão de energia aumentando o consumo de proteina. O desafio 01 foi diluir os nutrientes em 50% da sua quantidade incial e o desafio 02 foi restringir proteína na alimentação. No desafio 01 os peixes aumentaram o consumo de proteína diluída para poder obter o valor inicial e no desafio 02, quando havia restrição de proteína, eles não conseguiram sustentar a ingestão anterior. Comprovando por meio deste, o potencial carnívoro da espécie e consumo de nutrientes dos mesmos, promovendo dessa forma pela primeira vez um estudo que possibilitasse ao pirarucu selecionar nutrientes de forma livre.

Diante de todos os benefícios descritos no uso do sistema de auto-alimentação, nota-se sua importância na nutrição de peixes. Contudo, na utilização deste sistema, pode-se verificar algumas desvantagens, como o custo elevado para a instalação, a participação de mão de obra especializada para condução dos trabalhos, a grande variedade de espécies de peixe que podem comprometer o uso de determinados alimentadores, devido os diferentes hábitos alimentares, promovendo reestruturação dos sistemas, ainda, podemos citar o

uso desta metodologia para peixes de menor porte, pois este não apresentam capacidade de acionamento de determinados alimentadores, fazendo com que seja estabelecida uma outra forma de condução dos trabalhos, o que pode acarretar em maiores custos e provável redução na eficiência, e por fim, o treinamento dos peixes que pode comprometer o funcionamento, caso não seja realizado de maneira correta.

## 3 I COMPORTAMENTO ALIMENTAR EM PEIXES

O comportamento dos peixes é regido inicialmente por suas demandas diárias, como a busca por alimentos (ADAMS; JOHNSEN; ZHOU, 1988; FERREIRA et al., 1998; HARA, 1993), a procriação da espécie com diferentes estratégias (AZEVEDO; MALABARBA; BURNS, 2010; JAMIESON, 1991; PECIO; BURNS; WEITZMAN, 2007; VAZZOLER, 1996) e a sobrevivência (FERREIRA et al., 1998; GERKING, 1994; MAHER; LOTT, 1995). Esse comportamento é relacionado da mesma forma que para os outros animais, ou seja, o peixe apesar de estar em ambiente aquático, em nada difere da sua essência comportamental animal (SABINO, 1999). Como o foco principal deste estudo é a questão alimentar, iremos neste item descrever sobre tal comportamento.

Assim sendo, a questão alimentar é de grande importância para os peixes, pois relaciona-se com todas atividades e desenvolvimento desses organismos (DILL, 1983; WOOTTON, 1999). Segundo VOLKOFF & PETER, 2006), a ingestão dos alimentos, os hábitos alimentares, os mecanismos de detecção de alimentos, a preferência alimentar e a frequência de alimentação são fatores que estão intimamente correlacionados com o complexo comportamento alimentar. Dessa maneira, temos que, para a busca por alimentos os peixes desenvolveram três sistemas de conhecimento alimentar, sendo estes, o aprendizado a curto prazo, a memória intermediária através de efeitos parental e a memória ancestral que engloba o efeito genético no fenótipo (FORTES-SILVA; KITAGAWA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016).

A memória alimentar, segundo FORTES-SILVA et al., (2016), advém da carga genética dos organismos, por meio de uma carga gerada e de expectativas, por exemplo, sobre os tipos de alimentos que podem ser encontrados. Porém, esse conhecimento alimentar segundo FORBES, (2001), potencializa a memorização de experiências positivas e/ou negativas, proporcionando aos organismos a associação de uma percepção alimentar de acordo com suas necessidades intrínsecas. Essas experiências permitem aos organismos avaliarem o quão um alimento satisfaz ou não as demandas nutricionais, proporcionando a estes a escolha por determinados alimentos, o que influei diretamente em sua alimentação (FORTES-SILVA; KITAGAWA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016).

Segundo SIMPSON & RAUBENHEIMER, (1996) e BERTHOUD et al., (2012), existem três tipos de aprendizados que os organimos podem associar a consequências nutricionais: a aprendizagem de associações positivas, a aprendizagem de aversões e respostas não associativas. Assim, o conhecimento adquirido pode influenciar nas estratégias de buscas por alimentos, como relatado por DILL, (1983), que infere que o estado nutricional dos organismos pode influenciar no consumo de determinados itens alimentares, fazendo com que a busca por alimento não seja por necessidades mas sim por oportunidades, mesmo que altere o gasto energético.

Dessa forma, o meio oportuniza aos organismos aquáticos diversas conformações alimentares, seja pela oscilação dos recursos, seja pelas alterações ambientias espaciais. Assim sendo, os organismos aquáticos podem alterar seu comportamento alimentar, ou seja, o ambiente favorece a determinadas espéices a plasticidade trófica (ABELHA; AGOSTINHO; GOULART, 2001), como descrito por HAHN et al., (1997), em que a espécie de peixe *Plagioscion squamosissimus* alterou os itens de sua deita de acordo com a disponibildiade alimentar no ambiente, da mesma forma que GOULDING, (1980), que relatou esse tipo de comportamento paras as espécies de peixes redondas amazônicas (*Colossoma macropomum*, *Mylossoma* spp. e *Myleus* spp.) em determinadas épocas do ano. Contudo, existem espécies que preferem manter seu padrão nutricional ao ter que alterar a estratégia alimentar (BARTUMEUS et al., 2005). Dessa maneira, nessas situações, o comportamento dos peixes está diretamente relacionado com a capacidade de assimilar e compreender as variações ambientais dos itens alimentares, podendo ser benéfico ou não para determinadas espécies, dependendo do hábito e comportamento alimentário (HOLT; JOHNSTON, 2011).

Diante deste cenário, GERKING, (1994) sugeriu a seguinte classificação alimentar aos peixes: generalistas que não apresentam preferência alimentar (*Oligosarcus jenynsii* – NUNES & HARTZ, 2006; *Trachelyopterus lucenai* - MORESCO & BEMVENUTTI, 2005; *Plagioscion squamosissimus* – HAHN et al., 1997), especialistas que detém uma dieta restrita com adaptações morfológicas tróficas (*Schizodon nasutus*, *Schizodon intermedius*, *Steindachnerina insculpta* – BENNEMANN et al., 2000; *Bryconamericus stramineus* – CASATTI & CASTRO, 1998; *Bryconops giacopinni* - SABINO & ZUANON, 1998) e oportunistas que se alimentam de itens fora de seu leque nutricional e/ou de itens em abundânica (*Bryconamericus microcephalus* - REZENDE & MAZZONI, 2003; *Astyanax rivularis* - CASATTI & CASTRO, 1998; *Deuterodon langei* e *Astyanax* spp. – ARANHA et al., 1998); *Knodus moenkhausii* - CENEVIVA-BASTOS & CASATTI, 2007). Entretanto, essa classificação pode ser alterada devido a plasticidade trófica das espécies e as variações ambientais (ABELHA; AGOSTINHO; GOULART, 2001; KEENLEYSIDE, 1979; VAZZOLER, 1996), porém, esta forma de categorização dos peixes se torna importante para o estudo nutricional, uma vez que, a partir deste ponto, pode-se desenvolver pesquisas e monitoramento de seu comportamento alimentar, proporcionando melhores indicadores para a nutrição dos peixes e/ou práticas de preservação ambiental em diferentes corpos hídricos, favorencendo políticas públicas visando a melhoria nos índices produtivos e/ou conservação ambiental.

## 4 | APRENDIZAGEM DOS PEIXES EM AUTO-SELECIONAR DIETAS COM ALIMENTADORES DE AUTO-DEMANDA “SELF-FEEDERS”

Como relatado anteriormente, o comportamento alimentar está baseado em um tripé (FORTES-SILVA; KITAGAWA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016), porém, nesse tópico será abordado com maior grau de importância a aprendizagem e o mecanismo para auto-seleção de dietas, não que a memória parental e a memória ancestral não tenham importância, é que esta revisão visa o aprendizado dos peixes em auto-selecionar dietas, utilizando alimentadores de auto-demanda “*self feeders*”.

Os peixes advindos da aquicultura exibem uma ampla variedade de comportamento alimentar em comparação com os animais terrestres. Os peixes são considerados bons modelos experimentais para estudar a regulação da ingestão de nutrientes (VOLKOFF; PETER, 2006) e possuem considerável plasticidade para ritmos de alimentação (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1996). De acordo com SIMPSON & RAUBENHEIMER, (2001), os peixes são capazes de regular a ingestão de nutrientes e defender um alvo nutricional.

Assim sendo, segundo FORTES-SILVA et al., (2016), a aprendizagem em auto-selecionar dietas por meio da busca e do auto-conhecimento, faz com que os peixes possam avaliar se determinados alimentos satisfazem ou não suas necessidades nutricionais, promovendo um conhecimento apurado, permitindo dessa maneira, que estes mensurem suas consequencias futuras de acordo com suas escolhas.

Essa capacidade baseia-se na “sabedoria nutricional” observado em estudos realizados com diferentes espécies de peixes carnívoros, como *Solea senegalensis* (RUBIO et al., 2009), *Oncorhynchus mykiss* (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1999) e *Dicentrarchus labrax* (RUBIO; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; MADRID, 2003a) e peixes onívoros como *Oreochromis niloticus* (FORTES-SILVA & SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012) e *Carassius auratus* (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1998a). A auto-seleção de nutrientes poderia ser usada para otimizar a composição de dietas dos peixes de cultivo (BRÄNNÄS; STRAND, 2015), e permitir o desenvolvimento de programas mais eficientes de alimentação (KITAGAWA et al., 2015). Além disso, os estudos que contemplam os peixes como guia para projetar dietas, podem fornecer dados sobre mecanismos de regulação da ingestão de nutrientes (FORTES-SILVA; MARTÍNEZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2011; FORTES-SILVA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012), e também sobre o bem-estar dos peixes de acordo com opções de seleção de alimentos livres (KULCZYKOWSKA; SÁNCHEZ VÁZQUEZ, 2010; VOLPATO; GONÇALVES-DE-FREITAS; FERNANDES-DE-CASTILHO, 2007).

Corroborando com este pensamento, SIMPSON & RAUBENHEIMER, (1996) e BERTHOUD et al., (2012), relataram três sistema de aprendizado:

- aprendizagem de associações positivas;
- aprendizagem de aversões;
- respostas não associativas

Aliado a esse processo, o conhecimento alimentar dos peixes pode ser um ponto importante na aprendizagem, uma vez que a busca pelo alimento se torna mais específica ao invés de ser aleatória (BARTUMEUS et al., 2005; VISWANATHAN et al., 1999). Assim sendo, alguns mecanismos como o alimentador a demanda, se tornaram ferramentas importates para a auto-seleção de dietas e consequentemente favoreceram a técnica de aprendizado aos peixes, de modo que investigações a cerca do comportamento alimentar de peixes se tornaram viáveis.

De acordo com SIMPSON & RAUBENHEIMER (2001), devido ao desenvolvimento do alimentador a demanda, foi possível que peixes selecionassem dietas de sua preferência alimentar por meio do aprendizado nutricional e a ação de demanda, por meio da escolha. Assim sendo, esta metodologia se tornou uma maneira de facilitar o entendimento a cerca do aprendizado dos peixes e ainda proporcionou avaliações do comportamento alimentar

em peixes.

Dessa maneira, o sistema de alimentação por alimentadores de auto demanda configurou-se como um importante instrumento para estudos dos ritmos de alimentação (AZZAYDI et al., 1998). Este sistema permite ainda, diminuir o desperdício de alimento, além de fornecer a dieta no horário exato que o peixe deseja se alimentar (FORTES-SILVA; VIEIRA-ROSA, 2012). Vários dispositivos de alimentação foram desenvolvidos e evoluindo com o tempo, como o sensor de toque (ADRON; GRANT; COWEY, 1973; GROVE; LOIZIDES; NOTT, 1978; LANDLESS, 1976), uma roda de catraca com pequenos furos que contêm pastilhas alimentares individuais (TAKAHASHI; MURACHI; MORIWAKI, 1981), a rotação de um disco com buracos perfurados em torno da periferia e operados por um motor síncrono (BEACH; BAKER; ROBERTS, 1986), sensor elétrico (BOUJARD et al., 1992), sensor de estiramento (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1994) e sensor de presença – fotocélula com luz infravermelha (KITAGAWA et al., 2015). Esses dispositivos são acoplados a um microcomputador que permite a gravação contínua do comportamento alimentar e o horário de preferência de alimentação dos peixes. Desse modo, o desenvolvimento de sistemas de auto-alimentação é um importante instrumento para avaliações do comportamento alimentar de peixes (CHO, 1992; FORTES-SILVA; MARTÍNEZ; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2011).

Diversos autores trabalharam com esse sistema afim de buscar o padrão de seleção de dietas de espécies de importância produtiva, como foi o caso de:

- *Arapaima gigas* (MATTOS et al., 2016b)
- *Carassius auratus* (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1998a);
- *Dicentrarchus labrax* (ARANDA et al., 2000);
- *Dicentrarchus labrax* (RUBIO; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; MADRID, 2003a);
- *Dicentrarchus labrax* (RUBIO et al., 2004);
- *Diplodus puntazzo* (VIVAS et al., 2006);
- *Oncorhynchus masou masou* (FLOOD et al., 2011);
- *Oncorhynchus mykiss* (RAILSBACK et al., 2005);
- *Oncorhynchus mykiss* (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ et al., 1999);
- *Oreochromis niloticus* (FORTES-SILVA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012);
- *Salmo salar* (FRASER; METCALFE, 1997);
- *Salmo trutta* (BREMSET, 2000);
- *Salvelinus alpinus* (LINNER et al., 1990);
- *Solea senegalensis* (RUBIO et al., 2009);
- *Sparus aurata* (MONTOYA; ZAMORA; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012).

Desse modo, estratégias alimentares, incluindo rações com maior atrato-palatabilidade, adequação no tamanho do pellet, frequência alimentar ótima, controle do consumo e rações mais digestivas, tem um impacto significativo sobre a produtividade de empreendimentos aquícolas (Mizanur e Bai, 2014; Biswas et al., 2010). Atualmente, nas pisciculturas comerciais, principalmente no Amazonas, as rações não apresentam tamanho de pellets adequados para as diferentes fases do cultivo e são ofertadas manualmente lançando a ração no viveiro com um número pré-determinado de refeições, que varia de 2 a 4 alimentações por dia (Pantoja-Lima et al., 2015).

Esta prática alimentar é subjetiva, pois geralmente é fornecida a quantidade de alimento acima das exigências e das quantidades nutricionais que os peixes realmente necessitam, resultando em excessos alimentares, baixa eficiência alimentar, aumento dos resíduos nitrogenados e fosfatados, poluição ambiental e perdas econômicas (Oliveira, 2009). Assim, o advento de alimentadores automáticos, pode promover a maior eficiência no manejo alimentar das espécies amazônicas, impactando o desenvolvimento dos peixes, promovendo melhores índices na conversão alimentar e melhorias na qualidade da água da piscicultura, devido a maior frequência alimentar no manejo, proporcionando melhores índices de digestibilidade, influenciando de modo positivo a eficiência dos nutrientes no metabolismo animal, devido o maior número de refeições ao longo do dia (Fortes-Silva e Sánchez-Vázquez, 2012). Estudos com o tambaqui (estudo não publicado), umas das principais espécies de peixes amazônicas, demonstrou a capacidade deste peixe em aprender auto-selecionar seu alimento por meio dos alimentadores de auto-demanda "self-feeders" logo nos primeiros dias, assim como, os parâmetros zootécnicos e dados de economicidade, demonstraram melhores índices quando o manejo alimentar utilizado foi o alimentar a demanda.

## 5 | CONCLUSÃO

A utilização do sistema de auto demanda para alimentação é eficiente, pois promove bom desempenho dos peixes e reduz o desperdício de alimento, propagando também a avaliação correta do hábito alimentar dos peixes. Esses resultados demonstraram que é possível utilizar peixes amazônicos como guia, para fornecer ferramentas úteis para o setor da aquicultura, desenvolvendo protocolos de alimentos de boa qualidade nutritiva e de preferência alimentar.

Ainda, os resultados das pesquisas com alimentadores automáticos demonstraram que independentemente da fonte alimentar e da espécie de peixe, a metodologia descrita ao longo da revisão, pode auxiliar a aquicultura, no que tange as estratégias de alimentação dos peixes, incluindo horários e cronogramas alimentares precisos. Portanto, a partir de investigações detalhadas sobre o ritmo de alimentação, o produtor poderá efetivar sua produção.

Assim sendo, os sistemas descritos nesta revisão podem servir de modelo para investigações de regulação da ingestão alimentar, bem como estabelecer uma gestão da aquicultura, por meio do conhecimento do ritmo alimentar dos peixes, promovendo a construção de um planejamento alimentar preciso, sendo o peixe o guia, diminuindo desperdícios de rações e proporcionando melhorias na qualidade da água.

## AGRADECIMENTOS

Os autores desta pesquisa agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão de bolsas de estudos aos discentes envolvidos nesta publicação. Este trabalho foi apoiado de maneira direta pelos projetos aprovados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq Grant 477408/2013-3) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) (RED0004/2013 e PNE013/2014) concedidas ao Dr. Rodrigo Fortes.

## REFERÊNCIAS

ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. **Acta Scientiarum. Biological Sciencesarum**, v. 23, n. 2, p. 425–434, 2001.

ADAMS, M. A.; JOHNSEN, P. B.; ZHOU, H.-Q. Chemical enhancement of feeding for the herbivorous fish Tilapia zillii. **Aquaculture**, v. 72, p. 95–107, 1988.

ADRON, J. W.; GRANT, P. T.; COWEY, C. B. A system for the quantitative study of the learning capacity of rainbow trout and its application to the study of food preferences and behaviour. **Journal of Fish Biology**, v. 5, p. 625–636, 1973.

ALMAIDA-PAGÁN, P. F. et al. Macronutrient selection through post-ingestive signals in sharpsnout seabream fed gelatine capsules and challenged with protein dilution. **Physiology and Behavior**, v. 88, n. 4–5, p. 550–558, 2006.

ARANDA, A. et al. Self-design of fish diets by means of self-feeders: validation of procedures. **Journal of physiology and biochemistry**, v. 56, n. 3, p. 155–166, 2000.

ARANHA, J. M. R.; TAKEUTI, D. F.; YOSHIMURA, T. M. Habitat use and food partitioning of the fishes in a coastal stream of Atlantic Forest, Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 46, p. 951–959, 1998.

ARJONA, F. J. et al. Tertiary stress responses in Senegalese sole (Solea senegalensis Kaup, 1858) to osmotic challenge: Implications for osmoregulation, energy metabolism and growth. **Aquaculture**, v. 287, p. 419–426, 2009.

ASHLEY, P. J. Fish welfare: Current issues in aquaculture. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 104, n. 3–4, p. 199–235, 2007.

ATTIA, J. et al. Demand feeding and welfare in farmed fish. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 38, n. 1, p. 107–118, 2012.

AZEVEDO, M. A.; MALABARBA, L. R.; BURNS, J. R. Reproductive biology and development of gill glands in the inseminating characid, Macropsobrycon uruguayanae Eigenmann, 1915 (Cheirodontinae: Compsurini). **Neotropical Ichthyology**, v. 8, p. 87–96, 2010.

AZZAYDI, M. et al. Effect of three feeding strategies (automatic, ad libitum demand-feeding and time restricted demand feeding) on feeding rhythms and growth in European sea bass (Dicetrarchus labrax L.). **Aquacultur**, v. 9, n. 163, p. 285–296, 1998.

BARTUMEUS, F. et al. Animal Search Strategies: A Quantitative Random Walk Analysis. **Ecological Society of America**, v. 86, n. 11, p. 3078–3087, 2005.

BAYARRI, M. J. et al. Daily locomotor activity and melatonin rhythms in Senegal sole (Solea senegalensis). **Physiology and Behavior**, v. 81, n. 4, p. 577–583, 2004.

BEACH, M. A.; BAKER, G. E.; ROBERTS, M. G. An Accurate Demand Feeder for Fish, Suitable for Microcomputer Control. **Physiology & Behavior**, v. 36, p. 397–399, 1986.

BENNEMANN, S. T.; SHIBATTA, O. A.; GARAVELLO, J. C. **Peixes do rio Tibagi: uma abordagem ecológica**. [s.l.] Londrina, Eduel. p. 62, 2000.

BERTHOUD, H.-R. et al. Neural and metabolic regulation of macronutrient intake and selection. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 71, p. 390–400, 2012.

BISWAS, A. et al. Combined effect of photoperiod and self-feeder on the growth performance of striped knifejaw, Oplegnathus fasciatus. **Aquaculture**, v. 452, p. 183–187, 2016.

Biswas, G., Thirunavukkarasu, A. R., Sundaray, J. K., Kailasam, M.2010. Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackishwater environment. **Aquaculture**, v. 305, p. 26-31.

BOLLIET, V. et al. Effect of feeding time on digestibility, growth performance and protein metabolism in the rainbow trout Oncorhynchus mykiss: interactions with dietary fat levels. **Aquatic Living Resources**, v. 13, p. 107–113, 2000.

BOLLIET, V.; ARANDA, A.; BOUJARD, T. Demand-feeding rhythm in rainbow trout and European catfish: Synchronisation by photoperiod and food availability. **Physiology and Behavior**, v. 73, n. 4, p. 625–633, 2001.

BOUJARD, T. et al. Description of a modular, low cost, eater meter for the study of feeding behavior and food preferences in fish. **Physiology and Behavior**, v. 52, n. 6, p. 1101–1106, 1992.

BOUJARD, T. Diel rhythms of feeding activity in the European catfish, Silurus glanis. **Physiology and Behavior**, v. 58, n. 4, p. 641–645, 1995.

BOUJARD, T.; LEATHERLAND, J. F. Circadian rhythms and feeding time in fishes. **Environmental Biology of Fishes**, v. 35, n. 2, p. 109–131, 1992.

BRÄNNÄS, E.; STRAND, Å. A test of “nutritional wisdom” in perch (Perca fluviatilis) by self-selection of encapsulated macronutrients. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 171, p. 219–225, 2015.

BREMSET, G. Seasonal and diel changes in behaviour, microhabitat use and preferences by young pool-dwelling Atlantic salmon, Salmo salar, and brown trout, Salmo trutta. **Environmental Biology of Fishes**, v. 59, n. 2, p. 163–179, 2000.

BROTONS-MARTINEZ, J. et al. Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and feed selection of sea bass Dicentrarchus labrax fry fed with demand-feeders. **Fisheries Science**, v. 70, p. 74–79, 2004.

CARLBERG, H. et al. Using self-selection to evaluate the acceptance of a new diet formulation by farmed fish. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 171, p. 226–232, 2015.

CASATTI, L.; CASTRO, R. M. C. Fish community of the São Francisco river headwaters riffles, southeastern Brazil. **Ichthyological Exploration of Freshwaters**, v. 9, p. 229–242, 1998.

CENEVIVA-BASTOS, M.; CASATTI, L. Oportunismo alimentar de Knodus moenkhausii ( Teleostei , Characidae ): uma espécie abundante em riachos do noroeste do Estado de São Paulo , Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 97, n. 3, p. 7–15, 2007.

CHO, C. Y. Feeding Systems for Rainbow-Trout and Other Salmonids with Reference to Current Estimates of Energy and Protein-Requirements. **Aquaculture**, v. 100, n. 1–3, p. 107–123, 1992.

COSTAS, B. et al. Physiological responses of Senegalese sole (Solea senegalensis Kaup, 1858) after stress challenge: Effects on non-specific immune parameters, plasma free amino acids and energy metabolism. **Aquaculture**, v. 316, p. 68–76, 2011.

CUENCA, E.; DIZ, M.; DE LA HIGUERA, G. Self-selection of a diet covering zinc needs in the trout. In: [s.l.] in: Kaushik, S., Luquet, J. (Eds.), Fish Nutrition in Practice. INRA, 413-418p., 1993.

CUENCA, E. M.; DE LA HIGUERA, M. A microcomputer-controlled demand feeder for the study of feeding behavior in fish. **Physiology and Behavior**, v. 55, n. 6, p. 1135–1136, 1994.

DAVIE, P.; KOPF, R. Physiology, behaviour and welfare of fish during recreational fishing and after release. **New Zealand Veterinary Journal**, v. 54, p. 161–172, 2006.

DEL POZO, A. et al. Daily rhythms of clock gene expression, glycaemia and digestive physiology in diurnal/nocturnal European seabass. **Physiology and Behavior**, v. 106, n. 4, p. 446–450, 2012.

DILL, L. M. Adaptive Flexibility in the Foraging Behavior of Fishes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 40, p. 398–408, 1983.

EFSA. **Scientific opinion of the panel on animal health and welfare on a request from the European Commission on welfare aspect of the main systems of stunning and killing of farmed seabass and seabream.** EFSA J. 1010, 1–52, 2009

FARIA, C.; ALMADA, V. C. Tidal activity rhythms and depth distribution of rocky shore fish in an altered intertidal environment. **Acta Ethologica**, v. 11, n. 2, p. 123–126, 2008.

FARNER, D. S. Annual rhythms. **Annual review of physiology**, v. 47, n. 1, p. 65–82, 1985.

FAST, A. W.; QIN, T.; SZYPER, J. P. A new method for assessing fish feeding rhythms using demand feeders and automated data acquisition. **Aquacultural Engineering**, v. 16, n. 97, p. 213–220, 1997.

FERREIRA, C. E. L. et al. Herbivory by the Dusky Damselfish Stegastes fuscus (Cuvier, 1830) in a tropical rocky shore: effects on the benthic community. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 229, p. 241–264, 1998.

FLOOD, M. J. et al. Growing amago and rainbow trout in duoculture with self-feeding systems: Implications for production and welfare. **Aquaculture**, v. 309, n. 1–4, p. 137–142, 2010.

FLOOD, M. J. et al. Examining the daily feeding rhythms of amago Oncorhynchus masou masou using self-feeding systems. **Aquaculture**, v. 318, n. 1–2, p. 244–247, 2011.

FORBES, J. M. Consequences of feeding for future feeding. **Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology**, v. 128, n. 3, p. 463–470, 2001.

FORTES-SILVA, R. et al. Daily feeding patterns and self-selection of dietary oil in Nile tilapia. **Aquaculture Research**, v. 42, n. 1, p. 157–160, 2010a.

FORTES-SILVA, R. et al. Daily rhythms of locomotor activity, feeding behavior and dietary selection in Nile tilapia (Oreochromis niloticus). **Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology**, v. 156, n. 4, p. 445–450, 2010b.

FORTES-SILVA, R. et al. Dietary self-selection of protein-unbalanced diets supplemented with three essential amino acids in Nile tilapia. **Physiology and Behavior**, v. 105, n. 3, p. 639–644, 2012.

FORTES-SILVA, R.; KITAGAWA, A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Dietary self-selection in fish: a new approach to studying fish nutrition and feeding behavior. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 26, n. 1, p. 39–51, 2016.

FORTES-SILVA, R.; MARTÍNEZ, F. J.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Macronutrient selection in Nile tilapia fed gelatin capsules and challenged with protein dilution/restriction. **Physiology and Behavior**, v. 102, n. 3–4, p. 356–360, 2011.

FORTES-SILVA, R.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Use of self-feeders to evaluate macronutrient self-selection and energy intake regulation in Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 326–329, p. 168–172, 2012.

FORTES-SILVA, R.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; MARTÍNEZ, F. J. Effects of pretreating a plant-based diet with phytase on diet selection and nutrient utilization in European sea bass. **Aquaculture**, v. 319, n. 3–4, p. 417–422, 2011.

FORTES-SILVA, R.; VIEIRA-ROSA, P. Autosseleção de dietas: Um novo enfoque para estudos de nutrição e frequência alimentar em peixes marinhos e de água doce. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 9, n. 2, p. 1740–1754, 2012.

FRASER, N. H. C.; METCALFE, N. B. The costs of becoming nocturnal: feeding efficiency in relation to light intensity in juvenile Atlantic Salmon. **Functional Ecology**, v. 11, p. 385–391, 1997.

GAYE-SIESSEGGER, J. et al. Influence of dietary non-essential amino acid profile on growth performance and amino acid metabolism of Nile tilapia, Oreochromis niloticus (L.). **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, v. 146, p. 71–77, 2007.

GÉLINEAU, A. et al. Effect of feeding time on hepatic nucleic acid, plasma T3, T4, and gh concentrations in rainbow trout. **Physiology & Behavior**, v. 59, p. 1061–1067, 1996.

GERKING, S. D. **Feeding ecology of fish**. [s.l.] San Diego, California, Academic Press, 416p., 1994.

GOULDING, M. **The Fishes and the Forest. Explorations in Amazonian Natural History.** [s.l.] Berkeley, University of California Press, p.280, 1980.

GROVE, D. J.; LOIZIDES, L. G.; NOTT, J. Satiation amount, frequency of feeding and gastric emptying rate in Salmo gairdneri. **Journal of Fish Biology**, v. 12, p. 507–516, 1978.

HAHN, N. S.; AGOSTINHO, A. A.; GOITEIN, R. Feeding Ecology os curvina Plagioscion squamosissimus (HECHEL, 1840) (Osteichthyes, Perciformes) in the Itaipu reservoir and Porto Rico Floodplain. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 9, n. November 1983, p. 11–22, 1997.

HARA, T. J. Role of olfaction in fish behaviour. In: [s.l.] In: Pitcher, T.J. (Ed.). Behaviour of teleost fishes. 2ed., London: Chapman & Hall 171-199 p., 1993.

HEILMAN, M. J.; SPIELER, R. E. The daily feeding rhythm to demand feeders and the effects of timed meal-feeding on the growth of juvenile Florida pompano, Trachinotus carolinus. **Aquaculture**, v. 180, n. 1–2, p. 53–64, 1999.

HELM, B. et al. Annual rhythms that underlie phenology: biological time-keeping meets environmental change. **Proceedings of the Royal Society B.Biological sciences**, v. 280, p. 20130016, 2013.

HERRERO, M. J. et al. Demand-feeding rhythms and feeding-entrainment of locomotor activity rhythms in tench (Tinca tinca). **Physiology and Behavior**, v. 84, n. 4, p. 595–605, 2005.

HOLT, D. E.; JOHNSTON, C. E. Can you hear the dinner bell? Response of cyprinid fishes to environmental acoustic cues. **Animal Behaviour**, v. 82, p. 529–534, 2011.

HOULIHAN, D.; BOUJARD, T.; JOBLING, M. **Food Intake in Fish**. [s.l.] Blackwell Science Ltd, Oxford (UK). 422p., 2007. v. 210

HUNTINGFORD, F. A. Issues in Fish Welfare. v. 44, p. 332–372, 2006.

HURD, M. W. et al. Circadian rhythms of locomotor activity in zebrafish. **Physiology and Behavior**, v. 65, n. 3, p. 465–472, 1998.

JAMIESON, B. G. M. Fish Evolution and Systematics: Evidence from Spermatozoa. With a survey of lophophorate, echinoderm and protochordate sperm and an account of gamete cryopreservation. In: [s.l.] Cambridge University Press, Cambridge. p.319, 1991. v. 5p. 721–723.

KEENLEYSIDE, M. H. A. **Diversity and Adaptation in Fish Behaviour**. [s.l.] Zoophysiology, Vol. 11, Springer- Verlag, Berlin, p. 208, 1979.

KENTOURI, M. P. C. B. P. T. M. Feeding and growth responses of sea bass (Dicentrarchus labrax) reared by four feeding methods. **Aquaculture**, v. 175, n. 3–4, p. 293–305, 1999.

KITAGAWA, A. T. et al. Feeding behavior and the effect of photoperiod on the performance and hematological parameters of the pacama catfish (Lophiosilurus alexandri). **Appl. Anim. Behav. Sci.**, v. 171, p. 211–218, 2015.

KOTANI, T.; FUSHIMI, H. Determination of appropriate feeding schedules from diel feeding rhythms in finfish larviculture. **Aquaculture**, v. 315, n. 1–2, p. 104–113, 2011.

KULCZYKOWSKA, E. **Biological Clock in Fish**. [s.l: s.n.].

KULCZYKOWSKA, E.; SÁNCHEZ VÁZQUEZ, F. J. Neurohormonal regulation of feed intake and response to nutrients in fish: Aspects of feeding rhythm and stress. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 5, p. 654–667, 2010.

KUMAR BAGHEL, K.; ATANU, &; PATI, K. Biological Rhythm Research Pheromones as time cues for circadian rhythms in fish. **Biological Rhythm Research**, v. 46, n. 5, p. 659–669, 2015.

LANDLESS, P. J. Demand-feeding behaviour of rainbow trout. **Aquaculture**, v. 7, p. 11–25, 1976.

LEE, K. P.; BEHMER, S. T.; SIMPSON, S. J. Nutrient regulation in relation to diet breadth: a comparison of Heliothis sister species and a hybrid. **The Journal of experimental biology**, v. 209, n. Pt 11, p. 2076–84, 2006.

LI, Q. et al. Effects of dietary lipid sources on growth performance, lipid metabolism and antioxidant status of juvenile Russian sturgeon Acipenser gueldenstaedtii. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, p. 500–510, 2017.

LINNER, J. et al. Diel and seasonal locomotor activity patterns in Arctic charr, Salvelinm alpinus (L.). **Journal of Fish Biology**, v. 37, p. 675–685, 1990.

LÓPEZ-OLMEDA, J. F.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Feeding rhythms in fish: from behavioral to molecular approach. In: [s.l.] In: Kulczykowska, E., Popek, W., Kapoor, B.G. (eds.), Biological clock in fish, Science Publishers, Enfield, New Hampshire, 155-184p., 2010.

LÓPEZ-VÁSQUEZ, K.; CASTRO-PÉREZ, C. A.; VAL, A. L. Digestive enzymes of eight amazonian teleosts with different feeding habits. **Journal of Fish Biology**, v. 74, n. 7, p. 1620–1628, 2009.

LUCAS-SÁNCHEZ, A. et al. Age-related changes in fatty acid profile and locomotor activity rhythms in Nothobranchius korthausae. **Experimental Gerontology**, v. 46, n. 12, p. 970–978, 2011.

LUZ, R. K. et al. European seabass (Dicentrarchus labrax) ability to discriminate between diets made with different dietary fat sources. **Aquaculture Nutrition**, n. March 2016, p. 1–9, 2017.

MACKENZIE, D. S.; VANPUTTE, C. M.; LEINER, K. A. Nutrient regulation of endocrine function in fish. **Aquaculture**, v. 161, p. 3–25, 1998.

MADRID, J. A.; BOUJARD, T.; SANCHEZ-VAZQUEZ, F. J. **Feeding Rhythms**. [s.l.] In: Houlihan, D., Boujardt, T.,Jobling, M. (Eds.), Food Intake Fish, Wiley-Blackwell, Oxford, 189–215., 2001.

MAHER, C. R.; LOTT, D. F. Definitions of territoriality used in the study of variation in vertebrate spacing systems. **Animal Behaviour**, v. 49, p. 1581–1597, 1995.

MATTOS, B. O. et al. Self-feeder systems and infrared sensors to evaluate the daily feeding and locomotor rhythms of Pirarucu (Arapaima gigas) cultivated in outdoor tanks. **Aquaculture**, v. 457, 2016a.

MATTOS, B. O. D. et al. Daily self-feeding activity rhythms and dietary self-selection of pirarucu (Arapaima gigas). **Aquaculture**, v. 465, 2016b.

MAZZONI, R.; REZENDE, C. F. Seasonal diet shift in a Tetragonopterinae (Oateichthyes, Characidae) from the Ubatiba river, RJ, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, p. 69–74, 2003.

MIZANUR, R. M., BAI, S. C. The optimum feeding frequency in growing Korean Rockfish (*Sebastes schlegeli*) rearing at the temperature of 15°C and 19°C. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 27, p. 1319 – 1327, 2014.

MONTOYA, A.; ZAMORA, S.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Dietary selection by gilthead sea bream (Sparus aurata) provided with unbalanced mixed-macronutrient feeds dispensed from self-feeders. **Aquaculture**, v. 358–359, p. 35–40, 2012.

MORESCO, A.; BEMVENUTTI, M. . Morphologic features and feeding analysis of the black catfish Trachelyopterus lucenai Bertoletti, Pezzi da Silva & Pereira (Siluriformes, Auchenipteridae). **Acta Limnologica Brasileira**, v. 17, p. 37–44, 2005.

NAVARRO-GUILLÉN, C.; YÚFERA, M.; ENGROLA, S. Daily feeding and protein metabolism rhythms in Senegalese sole post-larvae. **Biology Open**, v. 6, p. 77–82, 2017.

NAVARRO, D. B. et al. Daily feeding rhythms of Senegalese sole under laboratory and farming conditions using self-feeding systems. **Aquaculture**, v. 291, n. 1–2, p. 130–135, 2009.

NOBLE, C. et al. The impact of environmental variables on the feeding rhythms and daily feed intake of cage-held 1+ Atlantic salmon parr (Salmo salar L.). **Aquaculture**, v. 269, n. 1–4, p. 290–298, 2007.

NUNES, D. M.; HARTZ, S. M. Feeding dynamics and ecomorphology of Oligosarcus jenynsii (Gunther, 1864) and Oligosarcus robustus (Menezes, 1969) in the Lagoa Fortaleza, southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, p. 121–132, 2006.

OLDFIELD, R. G. Aggression and welfare in a common aquarium fish, the Midas cichlid. **Journal of applied animal welfare science : JAAWS**, v. 14, n. 4, p. 340–60, 2011.

Oliveira, R.C. O panorama da aquicultura no Brasil: a prática com foco na sustentabilidade. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v.2, n.1, p. 71-89, 2009.

PANTOJA-LIMA, J., SANTOS, S. M. DOS S., OLIVEIRA, A. T. DE, ARAÚJO, R. L., SILVA, J. A. L. DA, ARIDE, P. H. R. Pró-rural aquicultura: relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do Estado do Amazonas, Brasil. **Nexus Revista de Extensão do IFAM**. v. 1, n.1, p. 36-46, 2015.

PAREDES, J. F. et al. Circadian rhythms of gene expression of lipid metabolism in Gilthead Sea bream liver: Synchronisation to light and feeding time. **Chronobiology International**, v. 31, n. 5, p. 613–626, 2014.

PASPATIS, M.; BOUJARD, T. A comparative study of automatic feeding and self-feeding in juvenile Atlantic salmon (Salmo salar) fed diets of different energy levels. **Aquaculture**, v. 145, n. 1–4, p. 245–257, 1996.

PECIO, A.; BURNS, J. R.; WEITZMAN, S. H. Comparison of spermiogenesis in the externally fertilizing Hemigrammus erythrozonus and the inseminating Corynopoma riisei (Teleostei: Characiformes: Characidae). **Neotropical Ichthyology**, v. 5, p. 457–470, 2007.

POLAKOF, S. et al. Glucose metabolism in fish: A review. **Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology**, v. 182, n. 8, p. 1015–1045, 2012.

POLI, B. M. et al. Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management. **Aquaculture International**, v. 13, p. 29–49, 2005.

RAILSBACK, S. F. et al. Tests of theory for diel variation in salmonid feeding activity and habitat use. **Ecology**, v. 86, n. 4, p. 947–959, 2005.

RAUBENHEIMER, D.; SIMPSON, S. J. Integrating nutrition: A geometrical approach. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 91, n. 1, p. 67–82, 1999.

REEBS, S. G. Plasticity of diel and circadian activity rhythyms in fishes. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 12, p. 349–371, 2002.

REZENDE, C. F.; MAZZONI, R. Aspectos da alimentação de Bryconamericus microcephalus(Characiformes, Tetragonopterinae) no córrego Andorinha, Ilha Grande – RJ. **Biota Neotropica**, v. 3, p. 1–6, 2003.

RICHTER, C. P. A behavioristic study of the activity of the rat. **Comp Psychol Monog**, v. 1, p. 1–54, 1922.

RUBIO, V. C. et al. Self-feeding of European sea bass (Dicentrarchus labrax, L.) under laboratory and farming conditions using a string sensor. **Aquaculture**, v. 233, n. 1–4, p. 393–403, 2004.

RUBIO, V. C. et al. Macronutrient self-selection in Solea senegalensis fed macronutrient diets and challenged with dietary protein dilutions. **Aquaculture**, v. 291, n. 1–2, p. 95–100, 2009.

RUBIO, V. C.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; MADRID, J. A. Macronutrient selection through postingestive signals in sea bass fed on gelatine capsules. **Physiology and Behavior**, v. 78, n. 4–5, p. 795–803, 2003a.

RUBIO, V. C.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; MADRID, J. A. Nocturnal feeding reduces sea bass (Dicentrarchus labrax, L.) pellet-catching ability. **Aquaculture**, v. 220, n. 1–4, p. 697–705, 2003b.

SABINO, J. Comportamento de peixes de riachos: métodos de estudo para uma abordagem naturalística. In: [s.l.] In: CARAMASCHI, E. P., MAZZONI, R. & PERES-NETO, P. R. eds. Ecologia de peixes de riachos. Série Oecologia Brasiliensis. Rio de Janeiro, PPGE-UFRJ. p.183-208., 1999.

SABINO, J.; ZUANON, J. A stream fish assemblage in Central Amazonia: distribution, activity patterns and feeding behavior. **Ichthyological Exploration of Freshwaters**, v. 8, p. 201–210, 1998.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. et al. Design and performance of an accurate demand feeder for the study of feeding behaviour in sea bass, Dicentrarchus labrax L. **Physiology & Behavior**, v. 56, n. 4, p. 789–794, 1994.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. et al. Demand feeding and locomotor circadian rhythms in the goldfish, Carassius auratus: Dual and independent phasing. **Physiology and Behavior**, v. 60, n. 2, p. 665–674, 1996.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. et al. Selection of macronutrients by goldfish operating self-feeders. **Physiology and Behavior**, v. 65, n. 2, p. 211–218, 1998a.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. et al. Annual Rhythms of Demand-Feeding Activity in Sea Bass: Evidence of a Seasonal Phase Inversion of the Diel Feeding Pattern. **Chronobiology International**, v. 15, p. 607–622, 1998b.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. et al. Macronutrient self-selection through demand-feeders in rainbow trout. **Physiology and Behavior**, v. 66, n. 1, p. 45–51, 1999.

SANCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; MADRID, J. A.; ZAMORA, S. Circadian Rhythms of Feeding Activity in Sea Bass, Dicentrarchus labrax L.: Dual Phasing Capacity of Diel Demand-Feeding Pattern. **Journal of Biological Rhythms**, v. 10, p. 256–266, 1995.

SANCHEZ-VAZQUEZ, F. J.; TABATA, M. Circadian rhythms of demand-feeding and locomotor activity in rainbow trout. **Journal of Fish Biology**, v. 52, n. 2, p. 255–267, 1998.

SANTOS, A. D. A. et al. Synchronization to light and mealtime of the circadian rhythms of self-feeding behavior and locomotor activity of white shrimps (Litopenaeus vannamei). **Comparative Biochemistry and Physiology -Part A : Molecular and Integrative Physiology**, v. 199, p. 54–61, 2016.

SHI, C. et al. Time-restricted self-feeding causes fin damage of Atlantic salmon. **Aquaculture International**, p. 1–9, 2016.

SIMPSON, S. J. et al. Optimal foraging when regulating intake of multiple nutrients. **Animal Behaviour**, v. 68, n. 6, p. 1299–1311, 2004.

SIMPSON, S. J.; RAUBENHEIMER, D. Feeding behaviour, sensory physiology and nutrient feedback: a unifying model. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 80, p. 55–64, 1996.

SIMPSON, S. J.; RAUBENHEIMER, D. A framework for the study of macronutrient intake in fish. **Aquaculture Research**, v. 32, n. 6, p. 421–432, 2001.

SLOMAN, K. A. et al. The effects of mixed-species assemblage on the behaviour and welfare of fish held in home aquaria. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 135, n. 1–2, p. 160–168, 2011.

TAKAHASHI, M.; MURACHI, S.; MORIWAKI, S. A feeding device for fishes designed for experimental use. **NIPPON SUISAN GAKKAISHI**, v. 47, p. 1131–1134, 1981.

TIAN, H.-Y. et al. Optimum feeding frequency of juvenile blunt snout bream Megalobrama amblycephala. **Aquaculture**, v. 437, p. 60–66, 2015.

TOGUYENI, A. et al. Feeding behaviour and food utilisation in tilapia, Oreochromis niloticus: Effect of sex ratio and relationship with the endocrine status. **Physiology and Behavior**, v. 62, n. 2, p. 273–279, 1997.

TWIBELL, R. G. et al. Effects of fish meal- and fish oil-free diets on growth responses and fatty acid composition of juvenile coho salmon (Oncorhynchus kisutch). **Aquaculture**, v. 360–361, p. 69–77, 2012.

VAZZOLER, A. E. A. M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. [s.l: s.n.].

VERA, L. M. et al. Circadian rhythms of locomotor activity in the Nile tilapia Oreochromis niloticus. **Chronobiology international**, v. 26, n. 4, p. 666–681, 2009.

VISWANATHAN, G. M. et al. Optimizing the success of random searches. **Nature**, v. 401, n. 6756, p. 911–914, 1999.

VIVAS, M. et al. Dietary self-selection in sharpsnout seabream (Diplodus puntazzo) fed paired macronutrient feeds and challenged with protein dilution. **Aquaculture**, v. 251, n. 2–4, p. 430–437, 2006.

VOLKOFF, H.; HOSKINS, L. J.; TUZIAK, S. M. Influence of intrinsic signals and environmental cues on the endocrine control of feeding in fish: Potential application in aquaculture. **General and Comparative Endocrinology**, v. 167, n. 3, p. 352–359, 2010.

VOLKOFF, H.; PETER, R. E. Feeding Behavior of Fish and Its Control. **Zebrafish**, v. 3, p. 131–140, 2006.

VOLPATO, G. L. Considerações metodológicas sobre os testes de preferência na avaliação do bem-estar em peixes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n. 1964, p. 53–61, 2007.

VOLPATO, G. L.; GONÇALVES-DE-FREITAS, E.; FERNANDES-DE-CASTILHO, M. Insights into the concept of fish welfare. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 75, n. 2, p. 165–171, 2007.

WOOTTON, R. . J. **Ecology of te leost fish**. [s.l.] The Netherlands: Kluwer Academic Publishers , p.386., 1999.

XIE, F. et al. The optimal feeding frequency of large yellow croaker (Pseudosciaena crocea, Richardson) larvae. **Aquaculture**, v. 311, p. 162–167, 2011.

YAMAMOTO, T. et al. Influence of feeding diets with and without fish meal by hand and by self-feeders on feed intake, growth and nutrient utilization of juvenile rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). **Aquaculture**, v. 214, n. 1–4, p. 289–305, 2002.

# CAPÍTULO 11

## EXIGÊNCIA DE AMINOÁCIDOS NAS DIETAS: UMA NECESSIDADE PARA PEIXES AMAZÔNICOS

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Ariany Rabello da Silva Liebl**
Universidade Federal do Amazonas
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-5010-1294

**Márcia Regina Fragoso Machado Bussons**
Fazenda Dona Branca
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro
https://orcid.org/0000-0002-5038-1775

**Elson Antônio Sadalla Pinto**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/9786797594989755

**Paulo Henrique Rocha Aride**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0001-9752-5003

**Adriano Teixeira de Oliveira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-4988-9878

**RESUMO:** Os aminoácidos exógenos estão entre os componentes de dietas com formulações nutricionalmente ricas utilizadas na nutrição de peixes. No entanto, para os peixes amazônicos produzidos nas pisciculturas ainda há poucos estudos com exigências de aminoácidos. O objetivo deste estudo foi demostrar um panorama das pesquisas com exigência de aminoácidos para peixes de importância econômica, que podem servir como base para estudos com peixes amazônicos. No atual estudo de revisão sistemática foram utilizados artigos publicados nas bibliotecas digitais Science Direct, SciELO e Google Scholar, inserindo palavras chaves dos seguintes *strings* de busca: peixe exigência aminoácido lisina (ou treonina, ou metionina), e nutrição de tambaqui (ou pirarucu, ou matrinchã, ou matrinxã). Embora melhorias no desempenho dos peixes sejam observadas sob fornecimento de aminoácidos respeitando a exigência que é determinada por métodos como o perfil corporal, dose-resposta e o conceito de proteína ideal, os vários métodos utilizados dificultam o confronto das respostas mostradas entre autores. Lisina, metionina e treonina destacam-se em maior número de estudos devido ao elevado requerimento dos peixes, facilidade de aquisição e de determinação. A lisina possui maior limitação nas dietas para peixes e atua em conjunto com a metionina na síntese proteica, enquanto a treonina restringe a síntese de metabólitos. Informações sobre características e exigências destes e de outros aminoácidos dietéticos para peixes, contribuirão para estudos futuros.

**PALAVRAS-CHAVE**: piscicultura, nutriente, lisina, metionina, treonina, tambaqui.

## AMINO ACID REQUIREMENT IN DIETS: A NEED FOR AMAZONIAN FISH

**ABSTRACT:** Exogenous amino acids are among the components of diets with nutritionally rich formulations used in fish nutrition. However, for Amazonian fish produced in fish farms, there are still few studies with amino acid requirements. The objective of this study was to show an overview of researches with amino acid requirements for

fish of economic importance, which can serve as a basis for studies with Amazonian fish. In the current systematic review study, articles published in the digital libraries Science Direct, SciELO and Google Scholar were used, inserting keywords from the following search strings: fish requirement amino acid lysine (or threonine, or methionine), and nutrition of tambaqui (or pirarucu, or matrinchã, or matrinxã). Although improvements in fish performance are observed under the supply of amino acids respecting the requirement that is determined by methods such as body profile, dose-response and the ideal protein concept, the various methods used make it difficult to compare the responses shown between authors. Lysine, methionine and threonine stand out in a greater number of studies due to the high requirement of fish, ease of acquisition and determination. Lysine has a greater limitation in fish diets and acts together with methionine in protein synthesis, while threonine restricts the synthesis of metabolites. Information on characteristics and requirements of these and other dietary amino acids for fish, will contribute to future studies.
**KEYWORDS:** fish farming, nutrient, lysine, methionine, threonine, tambaqui.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, concomitante ao avanço das pesquisas com nutrição de peixes, autores se dedicaram a revisar a literatura e reunir, informações obtidas por experimentação empírica ou por modelagens matemática sobre a exigência de aminoácidos exógenos, discutindo resultados, eficiência das abordagens utilizadas, entraves e tendências para análises em peixes (Ketola, 1982; Cowey, 1994; Hauler & Carter, 2001; Furuya & Furuya, 2010; Nunes et al., 2014). Esta súmula de conhecimentos elucida questões sobre a exigência de aminoácidos em várias espécies de peixes e é uma ferramenta útil na investigação do nutriente para espécies que não possuem os valores determinados.

A nutrição de peixes requer a elaboração e o correto fornecimento de dietas com alto valor nutricional, compostas essencialmente por aminoácidos que supram as exigências do peixe (Wilson, 2002; Furuya et al., 2011; Hua et al., 2019). Aminoácidos são compostos estruturais das proteínas que atuam em diversos locais do organismo animal executando funções distintas (Lehninger et al., 2002; Nelson & Cox, 2018). Eles podem ou não ser sintetizados em quantidade suficiente pelo organismo animal, o que oportunizou classificá-los como essenciais e não essenciais (Nelson & Cox, 2018).

Aminoácidos de produção exógena possuem exigência nutricional determinada através de metodologias como dose-resposta, perfil de aminoácidos e conceito de proteína ideal, e podem ser expressos pelo percentual de proteína bruta da dieta (Andrade et al., 2015). Baixos níveis de aminoácidos nas dietas limitam o desempenho animal, enquanto os altos níveis elevam a taxa de excreção de nitrogênio, comprometendo a qualidade da água e o retorno dos investimentos com a piscicultura. A suplementação com aminoácidos nos níveis de exigência condiciona a maior eficiência na preservação da saúde do peixe, ao aumento no ganho de peso, menor conversão alimentar, melhor composição da carne e maior rendimento dos cortes comercializados. O produto mais rentável impulsiona o crescimento da indústria de pescado e contribui na manutenção dos recursos naturais das espécies especialmente para peixes largamente explorados, como os peixes amazônicos tambaqui *Colossoma macropomun,* matrinchã *Brycon amazonicus* e pirarucu *Arapaima gigas* (Ahmed & Khan 2004; Brandão et al., 2009; Abimorad et al., 2010; Bomfim et al.,

2010; Helland & Grisdale-Helland, 2011; Dairiki et al., 2013).

Apesar dos peixes amazônicos possuírem grande capacidade produtiva, as escassas informações sobre nutrientes como aminoácidos não oportunizam a elaboração de dietas exclusivas, condicionando o uso de dietas abrangentes a peixes com mesmo hábito alimentar. O contrário ocorre para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), truta arco Íris (*Oncorhynchus mykiss*), carpa (*Cyprinus carpio*), bagre norte americano (*Ictalurus punctactus*) e o salmão (*Oncorhynchus spp.*), que são peixes com exigências determinadas para aminoácidos essenciais (Ribeiro et al., 2016). Diante do exposto, no atual estudo objetivou-se estabelecer um panorama sobre publicações com exigência de aminoácidos em dietas para peixes, a fim de orientar estudos futuros com peixes amazônicos.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

A revisão literária foi realizado a partir de 94 artigos, e citações neles incluídas, publicados nas plataformas digitais Science Direct, World wide science, SciELO (Scientific Electronic Library Online) e Google Scholar, inserindo como chave de busca, nos idiomas português e inglês, *strings* com as palavras peixe, aminoácido, lisina, treonina, metionina, exigência e nutrição.

O estudo foi organizado com abordagens sobre a utilização de aminoácidos na dieta de peixes, expondo o modo de absorção dos nutrientes e os resultados da participação na fisiologia e metabolismo, no primeiro tópico. No tópico seguinte, ocorre a descrição dos métodos utilizados para determinar a exigência aminoacídica. No penúltimo e no último tópico são apresentadas informações substanciais, tradicionais e atuais, sobre a suplementação de pesquisas com determinação da exigência de lisina, metionina, treonina e demais aminoácidos exógenos ao peixe.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Métodos utilizados na determinação das exigências de aminoácidos

A exigência nutricional é a quantidade do nutriente necessária diariamente para que o animal mantenha suas atividades produtivas, sendo determinada através de métodos científicos (Albertini et al., 2015). Embora os estudos sobre exigências de aminoácidos em peixe sejam realizados há mais de seis décadas, o consenso sobre a utilização de um método único na determinação ainda não foi estabelecido, o que facilitaria a posterior comparação dos resultados entre as pesquisas (Sakomura & Rostagno, 2007; NRC, 2011). O método quantitativo dose-reposta, utilizado por muitos pesquisadores, consiste na oferta de doses diferentes do aminoácido teste com concomitante avaliação da resposta do animal quanto a parâmetros do desempenho (Furuya et al., 2006; Botaro et al., 2007; Abimorad et al., 2010; Zehra & Khan, 2014). As informações obtidas permitem estruturar curvas com tendência crescente até a inflexão, e verificar o menor nível de adição para maior desempenho. Em paralelo, possibilita projetar o momento do platô da curva e das respostas decrescentes perante supersaturação (Euclydes & Rostagno, 2001). No método

dose-resposta, o comportamento da curva é caracterizado quatro momentos distintos. No momento inicial, o nutriente apenas assegura a mantença, enquanto no momento resposta há melhorias nos parâmetros analisados. Adicionalmente, a curva possui o momento de estabilidade, quando a evolução da resposta positiva cessa, e o momento de toxidade, quando a adição do nutriente pode ocasionar prejuízos ao animal por interações antagônicas (Euclydes & Rostagno, 2001; Sakomura & Rostagno, 2007).

Alguns entraves são detectados nas análises com dose resposta como a imprecisão na interpretação das curvas e resultados que não expressam a exigência dos aminoácidos através da proteína intacta. Os dados são verificados com análise de variância seguida de teste de comparação de média, mas, isoladamente o modelo não confere a precisão necessária (Sakomura & Rostagno, 2007). As verificações prosseguem com análises de regressão em modelos lineares e não lineares como o *linear response plateau* (LRP) ou *broken line*, o exponencial e o quadrático, de acordo com adaptações estatística. Métodos lineares como o LRP não consideram aspectos fisiológicos e podem subestimar as informações, enquanto o modelo quadrático tende a superestimar a dose ótima. No entanto, modelos quadráticos se ajustam bem aos dados nas análises de determinação de exigência nutricional (Sakomura & Rostagno, 2007).

O método de determinação da exigência através do perfil de aminoácidos corporal é condicionado pela capacidade individual de absorção do nutriente e utiliza a relação entre cada aminoácido indispensável na dieta e a quantidade total de aminoácidos indispensáveis (relação A/E). Estes aminoácidos são somados a tirosina e cistina, como estabelecido inicialmente com pesquisas com salmão prateado (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum, 1792) (Arai, 1981) e na sequência, verificado para truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) e (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) por Wilson & Cowey (1985). O aminoácido indispensável utilizado como base da relação A/E é o aminoácido mais limitante na dieta animal. Na nutrição de peixes, este nutriente é a lisina, que é um aminoácido que atua preferencialmente na deposição de proteínas do corpo, o que possibilita produzir respostas superestimadas (NRC, 2011).

As dietas formuladas para atender à exigência de proteína bruta contêm altos níveis de aminoácidos, ocasionando desbalanceamento na real exigência do peixe, que oxida a cadeia de carbono e desvincula-se do objetivo principal (Ronnestad et al. 2000). Assim sendo, esta exigência é determinada através do conceito de proteína ideal, que segundo o NRC (2011), é o melhor balanço possível no requerimento de aminoácidos para o desenvolvimento animal nos processos de manutenção biológica e crescimento. Na determinação da exigência de aminoácidos esta definição da proteína ideal viabiliza a suplementação nutricional de aminoácidos na forma cristalina em níveis adequados. A adequação tende a maximizar o uso da proteína e a reduzir seu percentual sem comprometer os parâmetros produtivos, o que diminui a excreção de nitrogenados e contribui para a sustentabilidade do meio (Bureau & Encarnação, 2006; Botaro et al., 2007; Zaniboni et al., 2018).

Adicionalmente aos métodos consubstanciados para determinação de aminoácidos, modelos matemáticos estruturados pela integração de informações de diferentes abordagens metodológicas são utilizados em vários estudos. O uso destes modelos permite calcular a exigência nutricional do peixe considerando a etapa da vida e a taxa de crescimento dos

peixes (Glencross, 2008; Hua et al., 2019). Estes modelos foram encontrados com aplicação na nutrição animal em estudos publicados desde a década de 60 e permanecem inseridos nos estudos atuais por gerar respostas num curto período e pelo custo em relação a experimentação empírica (Riggs,1963; France et al., 1987; Gill et al., 1989). No entanto, para os modelos matemáticos são atribuídos questionamentos sobre o fato de estimar a exigência de aminoácidos de maneira independente, não considerando a interação destes com outros nutrientes importantes para manutenção do organismo presentes na dieta do peixe (Shearer, 1995).

O método da oxidação dos aminoácidos nos tecidos preconiza que aminoácidos em concentrações dietéticas restritas na dieta possivelmente terão menor oxidação (oxidação direta) e maior síntese endógena. Comportamento oposto a este é esperado para o excesso aminoacídico na dieta, levando os aminoácidos excedentes a oxidação (Ribeiro et al., 2008). Embora esta técnica tenha sido utilizada na determinação de triptofano e de lisina, não mostrou eficiência na determinação de outros nutrientes como a arginina, não sendo recomendada por alguns autores (Wilson 1994; NRC, 2011). A correlação entre aminoácidos biodisponíveis no sangue e no músculo do peixe também foi estudada para determinar exigência de aminoácidos na dieta, porém, em poucos casos a exigência dos aminoácidos foi confirmada (NRC, 2011).

Alterações no consumo da dieta podem ser indicativo da exigência de aminoácidos. A carência de triptofano, arginina, leucina, lisina ou metionina, resultam em significativa diminuição do consumo da dieta (Tibaldi & Kaushik, 2005; Kaushik & Seiliez, 2010). No entanto, é real a necessidade de mais estudos sobre os mecanismos que envolvem consumo de aminoácidos, exigência de aminoácidos e a interação destes com outros nutrientes. O fato de as relações entre os aminoácidos permanecerem constantes nas várias fases de desenvolvimento dos peixes, ainda que as exigências venham a variar, sugere uma opção para padronizar e acelerar o conhecimento sobre as exigências aminoacídicas (Furuya et al., 2005; Araripe et al., 2011).

### 3.2 Suplementação do aminoácido lisina

Em investigações com exigências nutricionais a lisina tem sido utilizada como referência para determinação dos demais aminoácidos, dado a maior facilidade na sua quantificação e disponibilidade comercial de cristais com alta qualidade na forma de L-lisina (Rollin et al., 2003; Furuya et al., 2004; Furuya et al., 2006; Nguyen & Davis, 2016). A lisina é um aminoácido não sintetizado em quantidade suficiente pelo corpo do peixe, sendo especialmente direcionado para a deposição no tecido muscular, participa da produção do colágeno junto à hidroxilisina. Adicionalmente, ela é precursora da carnitina (síntese de L-carnitina) atuante na beta-oxidação mitocondrial de ácido graxos e sua suplementação em dietas melhora o percentual de sobrevivência, a utilização da proteína pelo animal, o crescimento e demais parâmetros de desempenho produtivo (Murillo-Gurrea et al., 2001; Peres & Oliva-Teles, 2008; Ovie & Eze, 2013; Furuya et al., 2013; Madrid et al., 2019). O desequilíbrio da lisina nas dietas propicia maiores entraves no ganho de peso dos peixes, enquanto níveis adequados promovem resultados opostos, aumentando a conversão alimentar, o rendimento de carcaça, a retenção de nitrogênio, além de prevenir doenças e danos nas nadadeiras (Rollin et al., 2003; Peres & Oliva-Teles, 2008; Takishita et al., 2009;

Dairiki et al., 2013; Ovie & Eze, 2013; Furuya et al., 2013).

Conceitualmente, a lisina é o aminoácido mais limitante em alguns cereais e grãos de uso comum como fonte proteica na nutrição de peixes, sobretudo quando acrescentados na composição da dieta com objetivo de substituir ou reduzir a concentração da proteína animal e reduzir os custos (Mai et al., 2006; Ebeneeazar et al., 2019). A limitação de um aminoácido reporta a inclusão deste na dieta em concentração insuficiente para manutenção do bom desempenho produtivo do peixe, e a menor carência do aminoácido restringe o aproveitamento dos demais. De acordo com Forster & Ogata (1998) e Mai et al. (2006) a exigência de lisina na nutrição de peixes concentra-se entre 3,7% e 6,2% da proteína dietética (PD), porém, o NRC (2011) mantém os registros para lisina entre 5,0 e 6,8% da proteína ofertada na dieta.

Assim como acontece com a lisina, muitos estudos com exigência nutricional de outros aminoácidos essenciais estão concentrados em peixes na fase juvenil. Isto ocorre, especialmente em espécies de peixes considerados grandes na fase adulta, porque os investimentos em pesquisas são mais custosos, demandando estruturas laboratoriais maiores e recursos para elaboração e manutenção da dieta durante o experimento, além do fato de que a atenção maior está voltada para as etapas de crescimento do peixe, onde há acelerada síntese proteica. As exigências dos juvenis de yellowtail (*Seriola quinqueradiata* Temminck & Schlegel, 1845), grass carp ou carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella* Cuvier & Valenciennes, 1844), e totoaba (*Totoaba macdonaldi* Gilbert, 1890), foram determinadas respectivamente, 1,66, 2,07 e 1,64 % da dieta (Ruchimat et al., 1997; Wang et al., 2005; Madrid et al., 2019). A exigência de lisina para a espécie introduzida, e altamente produzida no Brasil, tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758), foi verificada para juvenis por Furuya et al. (2006), por Bomfim et al. (2010) e por Furuya et al. (2013), que encontraram os valores de, respectivamente, 1,44% (5,23% PD), 1,54% (5,5% PD) e 1,31% de lisina digestível.

Poucas espécies nativas possuem pesquisas com aminoácidos como ocorre com a exigência de lisina para o jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824) e para o pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) (Montes-Girão & Fracalossi, 2006; Abimorad et al., 2010). O tambaqui (*Colosssoma macropomun* Cuvier, 1818) possui a maior desvantagem em tecnologias nutricionais, apesar de ser a principal espécie nativa cultivada, tendo apenas pesquisa recente sobre concentração de lisina na fase inicial de vida, determinada como 2,00% de lisina total. O fato evidencia a urgência de mais pesquisas que revelem as exigências dos peixes brasileiros com alto potencial produtivo, já inseridos na aquicultura no país e que carecem de informações para ajustamento nutricional a fim de aumentar a produtividade e a economia no cenário regional e nacional.

A formulação de dietas com eficácia depende do adequado balanço no perfil de aminoácidos estabelecido a partir de dados consistentes sobre as exigências nutricionais (Bicudo & Cyrino, 2009) e do conhecimento sobre o requerimento de nutrientes. A lisina cristalina foi introduzida nas dietas para peixes com intuito de equilibrar o balanceamento nutricional, considerando a carência dos ingredientes vegetais, e consolidou-se diante das observações positivas sobre os ganhos do animal (Cowey, 1994; Zarate & Lovell, 1997; Nguyen & Davis, 2016). As tecnologias atuais permitiram formulações com concentrado proteico de milho com altos níveis de lisina intacta para tilápia do Nilo (*O. niloticus*) e bagre

americano (*Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818), que segundo Nguyen & Davis (2016) possui a mesma eficácia da suplementação com lisina cristalina e maior aproveitamento econômico, além de grande concentração de metionina e outros aminoácidos. De uma forma ou de outra, a lisina tende a permanecer como referência e a ser adicionada à dieta do peixe para impulsionar o crescimento animal, evidenciando que espécies com o nível ideal estabelecido são favorecidas perante o mercado considerando os maiores ganhos atribuídos em função do aminoácido.

### 3.3 Suplementação da treonina, metionina e demais aminoácidos exógenos

Para a produção de imunoglobulinas e de mucinas do trato gastrointestinal dos peixes, a treonina é o aminoácido mais limitante (Silva et al., 2006; Bomfim et al., 2008; Bomfim et al., 2014). Atua sintetizando proteína com a formação de colágeno e de elastina, impedindo o acúmulo de gordura no fígado e estimulando o sistema imunológico e a atividade do timo (Ahmed, 2004; Cavalheiro et al., 2014). A necessidade de treonina dietética a 1,11% foi verificada por Araripe et al. (2011) para a tabatinga, cruzamento de espécies nativas (C*olossoma macropomum x Piaractus brachipomum*). Este percentual se aproxima dos níveis de treonina total e digestível de 1,11 e 0,99% para as melhores respostas sobre o desempenho de tilápia do Nilo (*O. niloticus*; 1,64 ± 0,03 g) encontradas por Bomfim et al. (2008).

Paralelamente, a metionina participa de funções fisiológicas como crescimento do peixe, e funções metabólicas como o fornecimento de grupo metil via S-adenosil metionina (SAM) para síntese de colina (Piedras et al., 2004; Cavalheiro et al., 2014). Em conjunto com a lisina, a metionina forma a L-carnitina, precursora da carnitina que carrega intracelularmente ácidos graxos para metabolização na mitocôndria, auxiliando na regulação dos triglicerídeos e colesterol (Walton et al., 1984). Sob carência de metionina no organismo, os peixes ficam propensos a desenvolverem cataratas, como registrado para trutas (Walton et al., 1984), além de inapetência e redução de crescimento animal. No entanto, quando em excesso, a metionina pode aumentar as taxas de aminoácidos no sangue, e igualmente limitar o crescimento animal (Piedras et al., 2004), o que não ocorre mediante dietas com balanceamento correto de metionina.

A metionina é comumente avaliada em ensaios experimentais juntamente com a cistina em decorrência da probabilidade de ser catabolizada em cistina. Para suplementação em dietas para tilápia do Nilo, a recomendação de 0,75% metionina é considerada elevada (NRC, 1993). O fato foi concluído com base na relação metionina:cistina dos ingredientes normalmente utilizados em dietas comerciais, que é de aproximadamente 1:1, condicionando a inclusão de aminoácidos sulfurados em torno de 1,50%, e elevando o custo da produção (Furuya et al., 2013). Concernente ao aminoácido referência lisina, a quantidade de metionina+cistina para tilápia do Nilo cultivada no Brasil foi determinada em aproximadamente 60% da lisina da dieta, ou 0,9% da lisina cristalina (Furuya et al., 2004; Bomfim et al., 2008; Furuya et al., 2013).

Triptofano, arginina, fenilalanina, leucina, isoleucina e valina, mesmo para espécies de peixes que possuem grande quantidade de informações nutricionais, poucos são os dados disponíveis sobre as exigências destes aminoácidos, o que propicia o uso do perfil de aminoácidos na relação AAE/L para estimar o requerimento nutricional (Teixeira et al., 2008;

Furuya et al., 2013). Kasozi et al. (2019) estimaram as exigências dos dez aminoácidos exógenos da dieta, somados a cisteína e tirosina (endógenos), para o teleósteo africano pebbly ou peixe dos seixos (*Alestes baremoze* Joannis, 1835). Os resultados mostram uma similaridade com respostas verificadas na literatura para os onívoros tilápia do Nilo (*O. niloticus*), bagre americano (*Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818), carpa comum (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758), e aruanã africano (*Heterotis niloticus* Cuvier, 1829) (Kasozi et al., 2019). A espécie africana é potencialmente produtiva, portanto, as estimativas são informações iniciais que precisam ser testadas pelo método dose-resposta. O caminho tomado pelos pesquisadores é propício para espécies ainda não efetivadas na piscicultura, no entanto, o mesmo percurso experimental necessita ser persistido, com ainda mais urgência, para as muitas espécies já inseridas lucrativamente em cultivos de peixe e que não possuem exigências de aminoácidos determinadas.

## 4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual estudo de revisão expõe a necessidade de maximização de pesquisas com aminoácidos para as espécies de peixes produzidas e potencialmente produzidas. Dentre as espécies produzidas ressaltam-se espécies nativas de peixes amazônicos para as quais foram encontrados poucos estudos com exigências de lisina, metionina, treonina e demais aminoácidos. Estas pesquisas podem ser enriquecidas com informações refinadas para as diferentes etapas de crescimento, testes fisiológicos, metabólicos e comportamentais. No entanto, enfatizando a sugestão de alguns autores, é importante buscar padronização em relação a pesquisas realizadas, aumentando a eficiência no julgamento das respostas disponíveis em literatura e a precisão no balanceamento destes aminoácidos dietéticos.

## REFERÊNCIAS


Abimorad, E. G., Favero, G. C., Squassoni, G. H., & Carneiro, D. (2010). Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition*, *16*(4), 370-377. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x.

Ahmed, I., & Khan, M. A. (2004). Dietary lysine requirement of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). Aquaculture, 235(1-4), 499-511. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.009.

Albertini, T. Z., de Medeiros, S. R., Gomes, R. D. C., & Feltrin, G. (2015). Exigências nutricionais, ingestão e crescimento de bovinos de corte. *Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE)*.

Andrade, C. L., Rodrigues, F. S., Carvalho, D. P., Pires, S. F., & Pires, M. F. (2015). Nutrição e alimentação de tilápias do Nilo. *Revista Eletrônica de Nutrição*, *12*(6), 4464-4469. ISSN: 1983-9006.

Arai, S. (1981), A purified test diet for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, fry. Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish, Tokyo 47: 547-550. DOI: https://doi.org/10.2331/suisan.47.547.

Araripe, M. N. B. A., Araripe, H. G. A. A., Lopes, J. B., de Castro, P. L., Braga, T. E. A., Hosmylton, A., & Carvalho Ferreira, M. L. T. D. A. (2011). Redução da proteína bruta com suplementação de aminoácidos em rações para alevinos de tambatinga. *R. Bras. Zootec*, *40*(9), 1845-1850. ISSN: 1806-9290.

Bicudo, A. J. A., & Cyrino, J. E. P. (2009). Estimating amino acid requirement of Brazilian freshwater fish from muscle amino acid profile. *Journal of the World Aquaculture Society*, *40*(6), 818-823. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00303.x.

Bomfim, M. A. D. (2014). Estratégias nutricionais para redução das excreções de nitrogênio e fósforo nos sistemas de produção de peixes no Nordeste: sustentabilidade ambiental e aumento da produtividade. *Revista Científica de Produção Animal*, *15*(2), 122-140. DOI: https://doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v15n2p122-140.

Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Abreu, M. L. T. D., Ribeiro, F. B., & Quadros, M. (2008). Reduction of crude protein with amino acid supplementation, based on ideal protein concept, in diets for Nile tilapia fingerlings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *37*(10), 1713-1720. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008001000001.

Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Quadros, M., Ribeiro, F. B., & Souza, M. P. (2010). Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *39*(1), 1-8. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001.

Botaro, D., Furuya, W. M., Silva, L. C. R., Santos, L. D. D., Silva, T. S. D. C., & Santos, V. G. D. (2007). Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques-rede. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 517-525. ISSN on-line: 1806-9290.

Brandão, L. V., Guimarães, S. F., da Fonseca, F. A., & Pereira Filho, M. (2009). Suplementação de metionina e/ou lisina em rações para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818). DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000300024.

Brookes, I. M., Owens, F. N., Brown, R. E., & Garrigus, U. S. (1973). Amino acid oxidation and plasma amino acid levels in sheep with abomasal infusions of graded amounts of lysine. *Journal of animal science*, *36*(5), 965-970. DOI: https://doi.org/10.2527/jas1973.365965x.

Bureau, D. P., & Encarnação, P. M. (2006). Adequately defining the amino acid requirements of fish: the case example of lysine. *Avances en Nutrición Acuícola VIII: VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Nuevo Leon, Mexico. Universidad Autónoma de Nuevo Leon*, 29-53. ISBN: 970-694-333-5.

Cavalheiro A. C. M., Castro. M. L. S., Einhardt M. D. S., Pouey J. L. O. F., Piedras S. N., Xavier E. G. (2014). Microingredientes utilizados em alimentação de peixes em cativeiro – Revisão. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, 109, p. 11-20.

Cowey, C. B. (1994). Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. *Aquaculture*, *124*(1-4), 1-11. DOI: https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90349-2.

Dairiki, J. K., Borghesi, R., Dias, C. T. S., Cyrino, J. E. P. Lysine and arginine requirements of *Salminus brasiliensis*. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 48, n. 8, p. 1012-1020 (2013).

Ebeneezar, S., Vijayagopal, P., Srivastava, P. P., Gupta, S., Varghese, T., Prabu, D. L., ... & Wilson, L. (2019). Dietary lysine requirement of juvenile Silver pompano, *Trachinotus blochii* (Lacepede, 1801). *Aquaculture*, 734234. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734234.

Euclydes, R. F., & Rostagno, H. S. (2001). Estimativa dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. In *Workshop Latino-Americano Ajinomoto Biolatina* (Vol. 1, pp. 77-88). São Paulo: p. 77-88.

Forster, I., & Ogata, H. Y. (1998). Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream Pagrus major. *Aquaculture*, *161*(1-4), 131-142. DOI: https://doi.

org/10.1016/S0044-8486(97)00263-9.

Furuya, W. M., & Furuya, V. R. B. (2010). Nutritional innovations on amino acids supplementation in Nile tilapia diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *39*, 88-94. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001300010.

Furuya, W. M., Botaro, D., Macedo, R. D., Santos, V. D., Silva, L. C. R., Silva, T. D. C., ... & Sales, P. J. P. (2005). Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, *34*(5), 1433-1441.

Furuya, W. M., Michelato, M., Graciano, T. S., Vidal, L. V. O., Xavier, T. O., Furuya, V. R. B., & de Moura, L. B. (2013). Exigência de lisina digestível para a tilápia do Nilo de 87 a 226 g alimentada com dietas balanceadas para a relação arginina: lisina. *Semina: Ciências Agrárias*, *34*(4), 1945-1954. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1945.

Furuya, W. M., Santos, V. D., Silva, L. C. R., Furuya, V. R. B., & Sakaguti, E. S. (2006). Exigências de lisina digestível para juvenis de tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *35*(3), 937-942. ISSN on-line: 1806-9290.

Furuya, W. M., Silva, L. C. R., Neves, P. R., Botaro, D., Hayashi, C., Sakaguti, E. S., & Furuya, V. R. B. (2004). Exigência de metionina+ cistina para alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Ciência Rural*, *34*(6), 1933-1937. ISSN: 0103-8478.

Furuya, W. M.; Barros, M. M.; Pezzato, L. E.; Cyrino, J. E. P. (2011). Exigências nutricionais e alimentação de tilápia. In: Cyrino, J. E. P E Fracalossi, D.M. *Nutriaqua: Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira* (2011). ISBN: 978-85-60190-03-4.

Gill, M., Beever, D. E., & France, J. (1989). Biochemical bases needed for the mathematical representation of whole animal metabolism. *Nutrition Research Reviews*, *2*(1), 181-200. DOI: https://doi.org/10.1079/NRR19890014.

Glencross, B. D. (2008). A factorial growth and feed utilization model for barramundi, Lates calcarifer based on Australian production conditions. *Aquaculture Nutrition*, *14*(4), 360-373. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00543.x.

Hauler, R. C., & Carter, C. G. (2001). Reevaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish. *Reviews in Fisheries Science*, *9*(3), 133-163. DOI: https://doi.org/10.1080/20016491101735bauerhhm.

Helland, S. J., & Grisdale-Helland, B. (2011). Dietary threonine requirement of Atlantic salmon smolts. *Aquaculture*, *321*(3-4), 230-236. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.09.008.

Hua, K., Suwendi, E., & Bureau, D. P. (2019). Effect of body weight on lysine utilization efficiency in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, *505*, 47-53. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.030.

Kang-Lee, Y. A., & Harper, A. E. (1978). Threonine metabolism in vivo: effect of threonine intake and prior induction of threonine dehydratase in rats. *The Journal of nutrition*, *108*(1), 163-175. DOI: https://doi.org/10.1093/jn/108.1.163.

Kasozi, N., Iwe, G., Sadik, K., Asizua, D., & Namulawa, V. T. (2019). Dietary amino acid requirements of pebbly fish, Alestes baremoze (Joannis, 1835) based on whole body amino acid composition. *Aquaculture Reports*, *14*, 100197. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100197.

Kaushik, S. J., & Seiliez, I. (2010). Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: current knowledge and future needs. *Aquaculture Research*, *41*(3), 322-332. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-

2109.2009.02174.x.

Ketola, H. G. (1982). Amino acid nutrition of fishes: requirements and supplementation of diets. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B: Comparative Biochemistry*, *73*(1), 17-24. DOI: https://doi.org/10.1016/0305-0491(82)90197-3.

Lehninger, A.L.; Nelson, D.L.; Cox, M.M. *Lehninger: Princípios de Bioquímica*, 3 ed. São Paulo: *Editora Sarvier*, 2002, 975p. ISBN: 8573781661.

Madrid, J., Pohlenz, C., Viana, M. T., & Lazo, J. P. (2019). Dietary lysine requirement for juvenile, Totoaba macdonaldi. *Aquaculture*, *500*, 92-98. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.003.

Mai, K., Zhang, L., Ai, Q., Duan, Q., Zhang, C., Li, H., ... & Liufu, Z. (2006). Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, *258*(1-4), 535-542. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.043.

Mitchell, H.F. Comparative nutrition of man and domestic animals. New York: Academic Press, 1964. p.567-647.

Murillo-Gurrea, D. P., Coloso, R. M., Borlongan, I. G., & Serrano, A. E. (2001). Lysine and arginine requirements of juvenile Asian sea bass Lates calcarifer. *Journal of Applied Ichthyology*, *17*(2), 49-53.

Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2018). *Princípios de Bioquímica de Lehninger-7*. Artmed Editora. ISBN: 97814641226116.

Nguyen, L., & Davis, D. A. (2016). Comparison of crystalline lysine and intact lysine used as a supplement in practical diets of channel catfish (Ictalurus punctatus) and Nile tilapia (Oreochromis niloticus). *Aquaculture*, *464*, 331-339. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.005.

NRC - National Research Council. *Nutrient requirement of fish and shrimp*. Washington, D.C.: *National Academy of Science* (2011). DOI: https://doi.org/10.17226/13039.

NRC - National Research Council. *Nutrient requirement of fish*. Washington, D.C.: *National Academy Press*, 114pp (1993). ISBN: 978-0-309-04891-0.

Nunes, A. J., Sá, M. V., Browdy, C. L., & Vazquez-Anon, M. (2014). Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids. *Aquaculture*, *431*, 20-27. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.04.003.

Ovie, S.O.; Eze, S. S. (2013). Lysine requirement and its effect on the body composition of *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, v. 8, n. 1, p. 94-100, DOI: http://dx.doi.org/10.3923/jfas.2013.94.100.

Peres, H., & Oliva-Teles, A. (2008). Lysine requirement and efficiency of lysine utilization in turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles. *Aquaculture*, *275*(1-4), 283-290. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.015.

Piedras, S. R. N., Pouey, J. L. O. F., & Rutz, F. (2004). Efeito da Suplementação de Metionina e/ou Lisina no Crescimento e na Sobrevivência de Alevinos de Peixe-rei (*Odontesthes bonariensis*). *R. Bras. Zootec*, *33*(6), 1366-1371. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982004000600002.

Ribeiro, F. M., Freitas, P. V. D. X., dos Santos, E. O., de Sousa, R. M., Carvalho, T. A., de Almeida, E. M., ... & Costa, A. C. (2016). Alimentação e nutrição de Pirapitinga (Piaractus brachypomums) e Tambaqui (Colossoma macropomum): Revisão. *Pubvet*, *10*, 873-945. DOI: http://doi .org/10.22256/pubvet .v10n12.873-882.

Ribeiro, L. B., de Arruda, A. M. V., Pereira, E. S., Konieczniak, P., & Tonello, C. L. (2008). Técnica de indicador de oxidação de aminoácidos. *Semina: Ciências Agrárias*, *29*(4), 973-981. ISSN: 1676-546X.

Riggs, D. S. (1963). The Mathematical Approach to Physiological Problems. Cambridge, MA: MIT. ISBN: 13: 9780262180467.

Rollin, X., Mambrini, M., Abboudi, T., Larondelle, Y., & Kaushik, S. J. (2003). The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) fry. *British Journal of Nutrition*, *90*(5), 865-876. DOI: https://doi.org/10.1079/BJN2003973.

Ronnestad, I., Conceição, L. E., Aragão, C., & Dinis, M. T. (2000). Free amino acids are absorbed faster and assimilated more efficiently than protein in postlarval Senegal sole (*Solea senegalensis*). *The Journal of nutrition*, *130*(11), 2809-2812. DOI: https://doi.org/10.1093/jn/130.11.2809.

Sakomura, N. K.; Rostagno, H. S. (2007). Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, p. 283. ISBN: 978-85-7805-154-9.

Shearer, K. D. (1995). The use of factorial modeling to determine the dietary requirements for essential elements in fishes. *Aquaculture*, *133*(1), 57-72. DOI: https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00405-D.

Silva, J. C., Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Ribeiro, F. B., de Siqueira, J. C., de Sousa, T. J. R., ... & do Nascimento, D. C. N. (2018). Lysine requirement for tambaqui juveniles. *Semina: Ciências Agrárias*, *39*(5), 2157-2168. DOI: http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2157.

Silva, L. C. R., Furuya, W. M., dos Santos, L. D., Gomes, V., dos Santos, T. S. D. C., & Silva, P. J. P. (2006). Níveis de teonina em rações para tilápias do Nilo. *R. Bras. Zootec*, *35*(4), 1258-1264. ISSN on-line: 1806-9290.

Takishita, S. S., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Bomfim, M. A. D., Quadros, M., & Souza, M. P. (2009). Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *38*(11), 2099-2105. ISSN on line: 1806-9290.

Teixeira, E. A., Crepaldi, D. V., Faria, P. M. C., Ribeiro, L. P., Melo, D. C. D., & Euler, A. C. C. (2008). Composição corporal e exigências nutricionais de aminoácidos para alevinos de tilápia (" Oreochromis" sp.). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, *9*(2). ISSN: 1519 9940.

Tibaldi, E., & Kaushik, S. J. (2005). Amino acid requirements of Mediterranean fish species. *Cahiers Options Méditerranéennes*, *63*(63), 59-65.

Walton, M. J., Cowey, C. B., & Adron, J. (1984). The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *British Journal of Nutrition*, *52*(1), 115-122. DOI: https://doi.org/10.1079/BJN19840077.

Wang, S., Liu, Y. J., Tian, L. X., Xie, M. Q., Yang, H. J., Wang, Y., & Liang, G. Y. (2005). Quantitative dietary lysine requirement of juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idella*. *Aquaculture*, *249*(1-4), 419-429. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.005.

Wilson, R. P. Amino acid requirements of fish. in: *Amino Acids in Farm Animal Nutrition*, J. P.F.D'Mello, ed. Wallingford, UK: CAB International. p. 377–399 (1994). ISBN: 0851988814.

Wilson, R. P., & Cowey, C. B. (1985). Amino acid composition of whole body tissue of rainbow trout and Atlantic salmon. *Aquaculture*, *48*(3-4), 373-376. DOI: https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90140-1.

Zaniboni-Filho, E., Pedron, J. D. S., & Ribolli, J. (2018). Opportunities and challenges for fish culture in Brazilian reservoirs: a review. *Acta Limnologica Brasiliensia*, *30*. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s2179-

975x12617.

Zarate, D. D., & Lovell, R. T. (1997). Free lysine (L-lysine· HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bound lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, *159*(1-2), 87-100. DOI: https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00184-1.

Zehra, S., Khan, M.A. (2014). Dietary threonine requirement of fingerling Indian major carp, *Catla* (Hamilton) estimated by growth, protein retention efficiency, threonine deposition, haematological parameters and carcass composition, *Aquaculture Research*, 13(1). DOI: https://doi.org/10.1111/are.12487.

# CAPÍTULO 12

# MANEJO NUTRICIONAL NA LARVICULTURA E ALEVINAGEM DE PEIXES ORNAMENTAIS AMAZÔNICOS

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Daniel Abreu Vasconcelos Campelo**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
http://orcid.org/0000-0001-9204-3566

**Lorena Batista de Moura**
Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
http://orcid.org/0000-0002-9225-6390

**Leonnan Carlos Carvalho de Oliveira**
*Universidade Federal Rural da Amazônia*
Belém – Pará
http://orcid.org/0000-0001-7551-6528

**Pamella Talita da Silva Melo**
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – Rio de Janeiro
http://orcid.org/0000-0002-9585-5516

**Bruno José Corecha Fernandes Eiras**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
http://orcid.org/0000-0002-9165-3829

**Ana Lucia Salaro**
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa – Minas Gerais
http://orcid.org/0000-0003-1178-427X

**Jener Alexandre Sampaio Zuanon**
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa – Minas Gerais
http://orcid.org/0000-0003-3916-5542

**Marcos Ferreira Brabo**
Universidade Federal do Pará
Bragança – Pará
http://orcid.org/0000-0001-8179-9886

**Galileu Crovatto Veras**
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
http://orcid.org/0000-0002-9975-830X

**RESUMO:** O comércio mundial de peixes ornamentais representa uma indústria multimilionária e em ascensão. A criação de peixes ornamentais é o segundo “hobby” mais popular do mundo, perdendo apenas da fotografia. A piscicultura ornamental mundial vem se sofisticando através do desenvolvimento de tecnologias de manejo produtivo, nutricional e melhoramento genético, para atender ao mercado cada vez maior e mais exigente. Existem aproximadamente 3000 espécies de peixes comercializados como ornamentais e pelo menos 55% deste montante são de peixes tropicais. Mundialmente, cerca de 93% dos peixes comercializados são representados por espécies de água doce e, dentre estes, aproximadamente 90% são provenientes da aquicultura. No Brasil contudo, o maior volume dos peixes produzidos em pisciculturas são destinados ao mercado interno, enquanto que praticamente a totalidade dos peixes exportados são provenientes do extrativismo. Sendo que os peixes ornamentais amazônicos ganham destaque dentre as principais espécies exportadas. Devido a abundância de recursos hídricos e a ictiofauna bastante diversa, especialmente na região amazônica, o Brasil possui grande potencial para figurar entre os maiores produtores mundiais de peixes ornamentais. Dessa forma, é importante o desenvolvimento de tecnologias voltadas para o aperfeiçoamento das técnicas de manejo produtivo e nutricional atualmente utilizadas. A produção de

peixes ornamentais em cativeiro traz vários benefícios, como a possibilidade de produção de variedades com cores e formas especificas, o desenvolvimento social e econômico local, além dos benefícios ambientais gerados pela redução da captura destas espécies no ambiente natural. Assim, como presente capítulo, objetiva-se realizar um apanhado sobre os diversos estudos envolvendo a nutrição e as técnicas de manejo produtivo adotados durante as fases de larvicultura e crescimento, na produção das principais espécies amazônicas de peixes ornamentais.
**PALAVRAS-CHAVE**: Alimentos vivos; Dietas praticas; Nutrição de peixes.

## NUTRITIONAL MANAGEMENT IN LARVICULTURE AND FINGERLING OF AMAZONIAN ORNAMENTAL FISH

**ABSTRACT:** The world trade in ornamental fish represents a multi-million and growing industry. Ornamental fish farming is the second most popular hobby in the world, second only to photography. The worldwide ornamental fish farming has been becoming more sophisticated through the development of technologies for productive, nutritional management and genetic improvement, to serve the growing and more demanding market. There are approximately 3000 species of fish marketed as ornamental and at least 55% of this amount are tropical fish. Worldwide, about 93% of the fish traded are represented by freshwater species and, of these; approximately 90% come from aquaculture. In Brazil, however, the largest volume of fish produced in fish farms is destined for the domestic market, while practically the totality of fish exported comes from extraction. The Amazonian ornamental fish are highlighted among the main exported species. Due to the abundance of water resources and the very diverse ichthyofauna, especially in the Amazon region, Brazil has great potential to figure among the world's largest producers of ornamental fish. Thus, it is important to develop technologies aimed at improving the productive and nutritional management techniques currently used. The production of ornamental fish in captivity brings several benefits, such as the possibility of producing varieties with specific colors and shapes, the local social and economic development, in addition to the environmental benefits generated by reducing the capture of these species in the natural environment. Thus, in the present chapter, the objective is to provide an overview of the various studies involving nutrition and productive management techniques adopted during the larviculture and growth phases, in the production of the main Amazonian species of ornamental fish.
**KEYWORDS:** Live food; Practical diets; Fish nutrition.

## 1 | INTRODUÇÃO

A aquicultura ornamental é caracterizada pelo cultivo de macrófitas aquáticas, macroalgas, moluscos, anfíbios, crustáceos, répteis e outros animais aquáticos e semiaquáticos, tendo a piscicultura como a vertente mais abordada. A utilização de peixes como animais ornamentaisou de estimação é datada próxima do século 400 A.C. (LIMA, 2001). Entretanto, apenas a partir de 1930 ocorreu a difusão do comércio de organismos aquáticos, com maior destaque para década de 1950. Durante este período,inovações tecnológicas como os pequenos compressores de ar, permitiram melhores condições no manejo de aquários e impulsionaram o setor.Além disso, a modernização da aviação comercial também contribuiu para expansão da atividade, uma vez que tornou possível a comercialização e transporte de peixes a grandes distâncias e em curtos espaços de tempo (SAMPAIO et al, 2008). A disponibilidade de manuais, livros e guias ilustrados apresentando

montagens de aquários e métodos de criação de peixes, plantas e invertebrados aquáticos ornamentais, tornou ainda mais popular a utilização de organismos aquáticos como hobby. Surgiram então, os termos “aquarismo” e “aquariofilia”.

No Brasil, a piscicultura ornamental teve início na década de 1920, com o sucesso reprodutivo de algumas espécies asiáticas de águas continentais (LIMA, 2001). Já nas décadas de 1950 e 1960 os peixes amazônicos tiveram destaque no mercado ornamental (VIDAL, 2003) e, na década de 1970 a Bacia Amazônica passou a ser considerada a maior fornecedora mundial de peixes ornamentais de água doce (HENDERSON et al., 1998). O pico da exportação brasileira ocorreu em 1979, quando 20 milhões de peixes ornamentais foram parar em aquários ao redor do mundo. Contudo, nas décadas de 1980 e 1990, a exportação declinou e se estagnou. Um dos motivos desse declínio foio desenvolvimento da criação em cativeiro de diversas espécies e linhagens, com melhor qualidade e cores mais exuberantes que asvariedades selvagens.

Hoje, o comércio mundial de peixes para fins ornamentais é uma indústria multimilionária e em ascensão (TLUSTY et al., 2013; LADISA et al., 2017). Atualmente, existem cerca de 125 países exportadores de peixes ornamentais, com destaque para Cingapura, conhecida como a capital mundial do peixe ornamental e dominando cerca de 17% das exportações do mundo. Espanha, Japão, Myanmar e Indonésia também se destacam (RAJA et al., 2019). Dentre os principais importadores, os Estados Unidos da América se destacam com aproximadamente 24 milhões de aquaristas. Na União Europeia, os peixes ornamentais são o grupo de animais de estimação mais popular. No Brasil, os peixes ornamentais vêm se tornando bastante populares, sendo um dos animais de estimação preferidos pelos brasileiros, estando à frente dos gatos e atrás somente dos cães. Além de entretenimento, hobby e ornamentação, a criação de peixes ornamentais também contribui para o desenvolvimento de pesquisas científicas, atua como ferramenta didática de ensino e ainda corrobora diretamente com esforços de preservação de recursos naturais e espécies ameaçadas (DEFARIA et al., 2019).

Do total de peixes ornamentais comercializados no mundo, cerca de 90 a 96% são espécies de água doce e deste montante, 90% são provenientes da aquicultura (DEY, 2016; MONTICINI, 2019). Por outro lado, para as espécies ornamentais marinhas menos de 10% das espécies comercializadas são provenientes de cultivos (LADISA et al., 2017), em função da falta de tecnologias de reprodução e larvicultura para a maioria das espécies comercializadas. Dentre as espécies dulcícolas mais comercializadas, destacam-se o acará bandeira (*Pterophyllumscalare*), acará disco (*Symphysodonaequifasciatus*), neon cardinal ou tetra cardinal (*Paracheirodonaxelrodi*), espada (*Xiphophorushelleri*), guppy ou lebiste (*Poeciliareticulata*), paulistinha (*Daniorerio*) e o peixe beta (*Bettasplendens*), sendo as três primeiras espécies nativas da bacia Amazônica. No Brasil, o maior volume de exportações de peixes ornamentais dulcícolas é proveniente do extrativismo, principalmente da bacia Amazônica nos estados do Amazonas e do Pará, enquanto a produção provenienteda aquicultura é menor e concentrada principalmente no estado de Minas Gerais, tendo como principal destino o mercado interno, com maior demanda para os estados do Rio de Janeiro e São Paulo (RIBEIRO et al., 2008; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2013).

Os peixes ornamentais amazônicos se sobressaempelo exotismo, diversidade de cores, tamanhos, formatos e comportamentos (ARAÚJO et al., 2020). Tais características

atraem a atenção decomerciantes, importadores, criadores, colecionadores e pesquisadores. Atualmente, foram catalogadas aproximadamente 2.700 espécies de peixes na bacia Amazônica(DAGOSTA E DE PINNA, 2019), sendo que cerca de 1.300 possuem potencial para ornamentação (ROSSATO E OLIVEIRA, 2019). Entretanto, em função do extrativismo, muitas vezes de forma ilegal, parte destas espécies estão em declínio ou ameaçadas de extinção (EVERS et al., 2019).

Atualmente, odesenvolvimento de tecnologiasde produção de espécies ornamentais amazônicas tem se intensificado, aprimorando assim a qualidade dos peixes no tocante a padronização dos lotes, desempenho produtivo, taxas de sobrevivência e desenvolvimento denovas variedades (ABE et al., 2016). Entretanto, maiores investimentos no desenvolvimento de tecnologias de cultivo são necessários para que o Brasil possa figurar entre as grandes lideranças produtoras de peixes ornamentais e reduzir o impacto do extrativismo sobre os estoques selvagens. Países asiáticos e europeus que investiram no desenvolvimento da piscicultura ornamental, hoje dominam o mercado de exportação e possuem pacotes tecnológicos para produção de diversas espécies, inclusive espécies nativas do Brasil. Para que o comércio de peixes ornamentais possa se converter em verdadeira oportunidade de negócio e impulsionar uma nova dinâmica na economia da região amazônica, é preciso que a produção de peixes ornamentais se torne uma atividade sustentável, ou seja, economicamente rentável, socialmente justa e ambientalmente responsável.

## 2 | MANEJO NUTRICIONAL

Todos os animais têm a necessidade de ingerir alimentos para adquirir nutrientes e energia, indispensáveis para o funcionamento do metabolismo corporal. A quantidade de energia e de cada nutriente a ser ingerido diariamente vai depender das necessidades corporais dos organismos. Essa necessidade é denominada exigência nutricional. Assim, a exigência nutricional pode ser definida como a quantidade de um nutriente necessária para atender um determinado nível de produção (SAKOMURA E ROSTAGNO, 2015). Portanto, ao estimar as exigências nutricionais dos peixes devemos sempre partir do conhecimento da biologia edas variações existentes na morfologia e fisiologia dos sistemas digestivos das diferentes espécies, em cada fase de vida (SILVEIRA et al., 2009). Devido à variabilidade genética, que é especialmente alta em determinadas espécies de peixes, cada indivíduo apresenta uma exigência particular para cada nutriente. Assim, é importante determinar como um grupo de peixes responde ao receber níveis de determinado nutriente na dieta. Também é importante estimar o nível ótimo a ser fornecido em função da avaliação econômica, visando redução nos custos de produção.

Determinar as exigências nutricionais consiste em quantificar e qualificar as necessidades nutricionais dos peixes em energia, proteína, aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e minerais (PEZZATO et al., 2004). Porém, além de ser espécie-especifica, fatores como digestibilidade dos nutrientes e ingredientes, sexo, fase de vida e estado fisiológicodo animal, além do sistema de produção adotado(PEZZATO et al., 2004; FURUYA et al., 2010), podem interferir nas exigências nutricionais dasdiferentes espécies de peixes.

Para peixes ornamentais, os pigmentantes da pele (carotenoides, antocianinas e as betalaínas) também podem ser considerados parte das exigências nutricionais e devem ser incluídos nas dietas.Uma vez que não podem ser sintetizados pelos peixes e na sua ausência, os animais apresentam prejuízos na reprodução e na atividade do sistema imune, quando em condições de desafio (CLOTFELTER et al., 2007). Além disso, em muitas espécies e variedades de peixes ornamentais, a coloração da pele é um dos principais fatores determinantes do valor comercial (DHARMARAJ E DHEVENDARAN, 2011) e, portanto, da lucratividade da atividade comercial.

Dessa forma, um dos grandes gargalos da produção de peixes ornamentais é a nutrição, em função da maioria das dietas balanceadas e completas existentes no mercado não ser espécie-específica ou fase-específica. A grande diversidade de espécies e de ambientes produtivos dificulta ainda mais o estabelecimento das exigências nutricionais para as espécies, assim como, o desenvolvimento de tecnologias de manejo produtivo e nutricional. Portanto, novas tecnologias e o aperfeiçoamento das já existentes, são fundamentais para o sucesso da cadeia produtiva das espécies ornamentais e principalmente para o desenvolvimento econômico e social da região Amazônica.

Para determinar a exigência nutricional de uma espécie, experimentos de dose-resposta são os mais indicados. Este método consiste em fornecer níveis crescentes de determinado nutriente em uma dieta basal deficiente apenas no nutriente avaliado. A exigência do nutriente é referente à quantidade do mesmo a partir da qual não haverá mais aumento no desempenho produtivo do animal. Dessa forma, é importante que os níveis do nutriente a serem testados sejam bem determinados, para que a resposta do animal ultrapasse a porção ascendente da curva de dose-resposta e atinja um platô. O excesso de determinado nutriente pode levar os peixes a reduzir os índices de desempenho produtivo, uma vez que o animal terá um gasto metabólico maior para lidar com o excesso e, dependendo do nutriente, o animal pode apresentar sinais de toxicidade (VELASCO-SANTAMARÍA E CORREDOR-SANTAMARÍA, 2011; CAMPELO et a., 2020). Determinar qual nível é alto ou baixo para determinada espécie pode exigir vários anos de pesquisa. As exigências já estabelecidas para espécies similares, que pertençam à mesma família, com mesmo habito alimentar, podem ajudar na determinação dos níveis a serem avaliados.

Neste contexto, principalmente na produção de peixes de corte, a ração é o insumo mais oneroso, podendo chegar a 70% do custo totalde produção (LOVELL, 1998; HLPE, 2017). No entanto, para as espécies ornamentais, esse valor pode ser inferior, dependendo do manejo nutricional utilizado. A utilização de alimentos vivos de baixo custo,como rotíferos,copépodas e cladóceros, pode ser uma das estratégias adotadas. Apesar de serem alimentos com elevados níveis de proteína, nem todas as espécies de peixes apresentam desenvolvimento satisfatório quando alimentadas apenas com esse tipo de alimento, principalmente devido ao reduzido tamanho destes organismos e a dificuldade de captura por parte de peixes de tamanho maior.

O fornecimento de dietas balanceadas e completas, que levam em consideração as especificidades nutricionais de cada espécie em cada fase de vida, assim como o fornecimento em quantidade e frequência adequadas, possibilita que os animais expressem seu máximo potencial genético de desenvolvimento e resulta em peixes saudáveis ecom qualidade, refletindo diretamente no valor de mercado. Acrescido a isso, dietas completas

e balanceadas reduzem a excreção nitrogenada dos peixes e a produção de fezes, o que reduz o potencial de eutrofização dos efluentes gerados pela piscicultura.

Tão importante quanto o estabelecimento das exigências nutricionais das espécies, o manejo alimentar adotado é fundamental para o sucesso da produção. Em ambiente natural, a alimentação dos peixes é altamente influenciada pela qualidade da água, hábito alimentar, plasticidade trófica, fotoperíodo e disponibilidade de alimento nas diferentes estações do ano (KESTEMONT E BARAS, 2001). Fatores como horários e o tempo disponível para alimentação são regulados por mecanismos fisiológicos próprios, como hormônios e enzimas, que por sua vez, são controlados por ciclos biológicos, como o ciclo circadiano e o alimentar, os quais normalmente apresentam elevado grau de interação (TAYLOR E MIGAUD, 2009; SALES et al., 2016). O principal sincronizador do ciclo circadiano é o fotoperíodo, e sua manipulação pode afetar diretamente o desenvolvimento e o padrão de cores de algumas espécies de peixes.

Para espécies diurnas, longos fotoperíodos estimulam o aumento no consumo de ração. O maior consumo ocorre provavelmente devido à maior atividade dos peixes sob essas condições. Aumento que é evidenciado principalmente próximo ao horário de fornecimento do alimento, estimulando a produção de hormônios orexigênicos. A maior atividade natatória também estimula a deposição de aminoácidos para a formação da proteína muscular, o que leva ao aumento do crescimento, uma vez que a deposição de proteína é responsável pela maior parte do ganho de peso quando comparada com outros nutrientes. Atrelado a estes fatores, o aumento do crescimento em fotoperíodos longos pode ser proporcionado também pela melhora na eficiência da utilização dos nutrientes, uma vez que os processos digestivos e absortivos podem se tornar mais eficientes (BISWAS et al., 2005; VERAS et al., 2013; SALES et al., 2016; VERAS et al., 2016a).

Em criações comerciais, a alimentação dos peixes também é influenciada pelas condições sanitárias dos animais, pela composição e palatabilidade das dietas, pelo fotoperíodo, qualidade da água e densidade de estocagem. Assim, para o estabelecimento de protocolos de manejo alimentar devem ser levados em consideração, não somente os aspectos acima citados, mas também a quantidade, a granulometria da dieta, a frequência e horários de alimentação. Realizar corretamente o manejo nutricional contribui para a redução do desperdício de alimento, garantindo assim a qualidade da água, a saúde dos animais e a otimização do custo de produção.

A taxa de alimentação se refere à quantidade de alimento fornecido e é um dos fatores que influenciam o crescimento e a sobrevivência dos indivíduos (ZUANON et al., 2011; ABE et al., 2015). O excesso ou a falta de alimento pode comprometer o crescimento, a eficiência alimentar (LEE et al., 2000) e consequentemente, a saúde dos peixes. Altas taxas de alimentação podem levar ao aumento da velocidade de passagem do bolo alimentar pelo trato gastrointestinal, prejudicando a digestão e a absorção dos nutrientes, assim como piorando a conversão alimentar.Além disso, o alimento não consumido pode deteriorar a qualidade da água e causar mortalidade dos peixes. Taxas de alimentação mais próximas da saciedade do peixe podem otimizar a conversão alimentar, pois aumentam a eficiência de digestão e absorção do trato gastrointestinal. Porém, alimentação insuficiente poderá levar a redução do desempenho produtivo dos animas e aumento das disputas pelo acesso ao alimento (SANTOS et al., 2019). Portanto, é preciso que o alimento seja

fornecido em quantidade satisfatória, proporcionando aos peixes nível de consumo que equilibre ganho de peso e conversão alimentar (SANTOS E LUZ, 2009).

A frequência alimentar, caracterizada pelo número de vezes que o alimento é ofertado aos peixes por dia, também é fundamental para o sucesso da produção. Definir os intervalos de alimentação e de restrição alimentar, período em que os animais ficam sem alimentação, faz com que os peixes ajustem a quantidade de alimento consumido. Fornecer alimento na frequência adequada pode reduzir problemas de interação social e dominância hierárquica, o que torna o lote mais homogêneo e reduz a necessidade de classificações (SALES et al.; 2016; VERAS et al., 2016b; PAIXÃO et al., 2019). A fase de vida do peixe também influencia na frequência alimentar ideal, pois animais mais jovens apresentam maior atividade metabólica e geralmente necessitam de maiorfrequência alimentar (VERAS et al., 2016c; PAIXÃO et al., 2019). O hábito alimentar do peixe também deve ser considerado, uma vez que espécies onívoras, com estômago pequeno, procuram alimento mais frequentemente, por apresentarem limitações na capacidade de armazenamento. Por outro lado, espécies carnívoras, com estômagos maiores e elásticos, podem ingerir grandes quantidades de alimento em um único momento, mantendo-se saciadas por longos períodos (CARNEIRO E MIKOS, 2005). De modo prático, a taxa de alimentação é dividida pela frequência alimentar para determinar a quantidade de alimento que deve ser fornecida em cada alimentação.

Rações formuladas para pós-larvas geralmente apresentam 40% a 50% de proteína bruta, e teor de gordura entre 10% e 15%. Alevinos a partir de 0,5g já podem ser alimentados com rações na forma peletizada ou extrusada. É importante que a granulometria da ração também seja ajustada as diferentes fases de desenvolvimento e tamanho dos peixes. Pós-larvas e pequenos alevinos em geral são alimentados com ração finamente moída, ou em pó, partículas inferiores a 0,5mm. Alevinos de 0,5 a 5,0g geralmente são capazes de consumir micropeletes entre 0,5 a 1mm. Uma vez que estes micropeletes nem sempre estão disponíveis no mercado, muitos piscicultores se veem obrigados a estender o uso da ração em pó por um período mais longo, até que o peixe atinja cerca de 5,0g e seja capaz de consumir peletes de 2mm de diâmetro (KUBITZA, 2009). Para alimentação de pós-larvas, o uso de alimentos vivos também pode ser uma boa estratégia nutricional, especialmente para as espécies ornamentais.

## 3 I MANEJO NUTRICIONAL DURANTE A LARVICULTURA

Assim que eclodem, as larvas da maioria das espécies de peixes não possuem abertura bucal nem o trato digestivo completamente formado, sendo dependentes exclusivamente das reservas de nutrientes presentes no saco vitelínico. Após algumas horas ou dias de vida, dependendo da espécie e da temperatura, as reservas energéticas do saco vitelínico esgotam e elainicia a captura de alimentos exógenos(PORTELLA E DABROWSKI, 2008; JAROSZEWSKA E DABROWSK, 2011; PORTELLA et al., 2012). A partir destes eventos inicia-se a fase de pós-larva. Tanto a larva como a pós-larva em nada lembram o peixe adulto. Geralmente não possuem as nadadeiras totalmente formadas e os sistemas orgânicos ainda estão em processo de formação (PEREIRA et al., 2016). Larvas e pós-larvas também apresentam pouca pigmentação. As pós-larvas passam a

serem chamadas de alevinos quando passam a apresentar características que já lembram os exemplares adultos, como a presença de todas as nadadeiras e o formato do corpo semelhante ao adulto. Todo o processo, desde a eclosão das larvas, passando pelo estágio de pós-larva, até a fase de alevinos, definimos como a fase de larvicultura.

Diferentemente da larvicultura de peixes de corte, que apresenta rentabilidade de acordo com a biomassa de formas jovens produzidas, a rentabilidade da larvicultura de peixes ornamentais está diretamente relacionada à sobrevivência de cada indivíduo, assim como na uniformidade dos lotes e no tamanho dos animais. Assim, o desenvolvimento de protocolos de cultivo para formação do pacote tecnológico para as principais espécies amazônicas de peixes ornamentais é de fundamental importância.

Na fase de pós-larva muitas espécies não assimilam adequadamente os nutrientes das dietas inertes(PEDREIRA et al., 2008; DIEMER et al., 2012). Mesmo a oferta de dietas inertes com adequada composição nutricional e granulometria, podem refletir em altas taxas de mortalidades para animais nesta fase, em função de vários fatores, que variam desde a falta de estímulos visuais, densidade de estocagem,taxa e frequência alimentar utilizada, até aceitabilidade do próprio alimento fornecido, que depende da textura, cor, sabor e tamanho. Por estes motivos, o emprego de alimentos vivos se tornou prática comum na primeira alimentação de pós-larvas de peixes de várias espécies.

O uso de alimentos vivos apresenta vários benefícios, como a melhor distribuição do alimento na coluna de água (PEREIRA et al., 2016). A movimentação desses organismos na coluna d’agua favorece a percepção das pós-larvas de peixes, através de estímulos químicos e visuais, o que estimula o consumo e, consequentemente, melhora as taxas de sobrevivência (LUZ, 2007; TESSER E PORTELLA, 2006). Os organismos utilizados como alimento vivo geralmente possuem composição adequada de nutrientes essenciais, além disso, podem apresentar determinadas enzimas não encontrados nos alimentos inertes. Dentre os principais alimentos vivos utilizados na aquicultura, destacam-se os infusórios, representados pelo protozoário *Paramecium* sp., microalgas, microvermes (*Anguilulasilusiae*), rotíferos, copépodos, cladóceros como *Daphnia* sp. e *Moina* sp., e os náuplios de *Artemia* sp. (KANDATHIL RADHAKRISHNAN et al., 2020). O alimento vivo ideal vai depender da espécie e da fase de vida do peixe. O tamanho da abertura bucal da pós-larva é determinante na escolha do alimento e pode variar conforme o crescimento do animal (LIM et al., 2003).

Os nauplios de *Artemia* foram incorporados com sucesso na larviculturaao redor do mundo e tem sido de uso padrão em diversos empreendimentos aquícolas. As*Artemia*são pequenos crustáceos de hábitat marinho, filtradores, da Classe Brachiopoda, ordem Anostraca e pertencentes a família Artemiidae. A *Artemia*é um organismo com alto valor nutricional, apresenta entre 51% e 55% de proteína bruta, 14% a 15% de carboidratos, 13% a 19% de lipídios e 3% a 15% de ácidos graxos altamente insaturados (TREECE, 2000). A *Artemia* é comercializada na forma de cistos (ovos de resistência), que devem ser eclodidos em água salinizada (de acordo com a indicação do fabricante), em ambiente bem iluminado. A facilidade de aquisição deste produto nos mercados nacionais e internacionais, a possibilidade de armazenamento fora da água, além do tamanho e composição nutricional dos náuplios, tornam as *Artemias*um dos insumos mais importantes na alimentação inicial de peixes. Entretanto, estudos econômicos referentes ao uso de

náuplios de *Artemia* na alimentação de pós-larvas de peixes mostraram que esse tipo de alimento está entre os itens mais onerosos da larvicultura (KAMRUNNAHAR et al., 2019; LE et al., 2019; KANDATHIL RADHAKRISHNAN et al., 2020). O preço dos cistos varia de acordo com a produção nas salinas solares (VAN STAPPEN et al., 2019) e a qualidade dos cistos varia em função dos cuidados na coleta, processamento e armazenamento. Portanto, a utilização deste alimento deve ser avaliada, para as diferentes espécies, quanto ao tempo, a taxa e a frequência ideal de fornecimento.

Na fase inicial de desenvolvimento dos peixes, a taxa e a frequência alimentar tem influência direta nos custos com alimentação e, portanto, são necessários esforços para estabelecer rotinas de manejo para a larvicultura das diversas espécies ornamentais amazônicas. Na larvicultura do ciclídeo ornamental amazônico acará severo (*Herosseverus*), melhores taxas de sobrevivência e desempenho produtivo foram observadas quando 250 náupliosde *Artemia* pos-larva$^{-1}$ dia$^{-1}$ foram ofertadas,divididas em quatro alimentações diárias (ABE et al., 2016). Para a pirrulina pintada (*Pyrrhulinabrevis*), outro peixe ornamental amazônico, a quantidade ideal de alimento foi definida em 150 náuplios de *Artemia* pos-larva$^{-1}$ dia$^{-1}$ divididos em 4 alimentações diárias (ABE et al., 2015). Pós-larvas de acará bandeira, também alimentadas com 150 náuplios de *Artemia* pos-larva$^{-1}$ dia$^{-1}$, apresentaram melhor desempenho produtivo na frequência alimentar de duas vezes ao dia (CAMPELO et al., 2019a). A frequência de duas alimentações diárias também demonstraram excelentes resultados para pós-larvas do peixe lápis (*Nannostomusbeckfordi*)(ABE et al., 2019).Estes trabalhos demonstram que a taxa e frequência alimentar ideal é espécie-específica e que deve ser determinada a fim de otimizar a utilização do alimento e racionalizar os custos.

A adoção de taxas e frequências alimentares inadequadas no fornecimento denáuplios de *Artemia* pode promover a redução da qualidade da água devido a morte rápida dos náuplios em água doce, aumentando os níveis de condutividade e de amônia total da águade cultivo (SANTOS et al., 2015).Por se tratar de um organismo de ambientes salinos, os náuplios de *Artemia* sobrevivempor pouco tempo emágua doce (BEUX E ZANIBONI-FILHO, 2006; SOUNDARAPANDIAN E SARAVANAKUMAR, 2009), com isso as pós-larvas não conseguem se alimentar de forma satisfatória, prejudicando o desempenho produtivo e a qualidade da água. Uma estratégia adotada durante a larviculturaé a utilização de água salinizada, via diluição de sal comum (NaCl).

A água salinizada ajuda a reduzir as perdas de íons e a absorção de água, por meio da reduçãoda diferença osmótica entre o plasma dos peixes e o meio externo (VARSAMOS et al., 2005). O sal pode também ser utilizado para prevenir doenças (MARCHIORO E BALDISSEROTTO, 1999; SOUZA-BASTOS E FREIRE, 2009), promover o crescimento e reduzir o estresse (LUZ E PORTELLA, 2002; BEUX E ZANIBONI-FILHO, 2007; SANTOS E LUZ, 2009). Além disso, meios ligeiramente salinizados otimizam o aproveitamento dos náuplios de *Artemia* (LOPES et al., 1996; JOMORI et al., 2012), pois a salinização da água de criação possibilitaque os microcrustáceos permaneçam vivos por mais tempo. Água contendo 1 g L$^{-1}$ de sal é recomendada durante a alimentação inicial de pirrulina pintada com náuplios de *Artemia* (OLIVEIRA et al., 2020a). Para larvicultura do oscar(*Astronotusocellatus*) (JOMORI et al., 2013) e do acará bandeira (EIRAS et al., 2019), 2 e 4 g L$^{-1}$ de sal foram recomendados, respectivamente.

Outro fator preponderante nalarvicultura é a transição alimentar,substituição

gradual do alimento vivo pelo alimento inerte, que deve ser realizada de forma cautelosa. A substituição muito precoce pode levar à redução no crescimento e na sobrevivência das pós-larvas. Em estudo sobre transição alimentar na larvicultura do acará severo, melhor desempenho produtivo foi observado nos animais alimentados com náuplios de *Artemia* por 10 dias e o tempo de transição para a dieta seca de três dias (CAMPELO et al., 2019b). Para larvas de acará bandeira, também podeser utilizado tempo de transição alimentar de três dias, porém, deve ser iniciada após pelo menos 20 dias de alimentação com náuplios de *Artemia* (PEREIRA et al., 2016).

Além da adição de sal na água e do período de transição alimentar, aproveitar o crescimento compensatório dos peixes também pode ser uma estratégia para otimizar a utilização de alimentos vivos e, consequentemente, reduzir os custos de produção (ITUASSÚ et al., 2004). A premissa é que os animais que passaram por um período de restrição alimentar, possam atingir o mesmo tamanho que os indivíduos mantidos com maior disponibilidade de alimento. O crescimento compensatório é identificado por ser significativamente mais rápido que o crescimento dos animais que não sofreram restrição alimentar, mantidos em condições ambientais equivalentes. Esse crescimento acelerado acaba retornando para taxas de crescimento típicas, após o animal atingir o peso normal para a idade que ele se encontra (ALI et al., 2003). Utilizar esse potencial de crescimento acelerado em momentos estratégicos da criação pode reduzir o custo de produção, sem acarretar em perdas no desenvolvimento dos animais.

Dentre as espécies ornamentais amazônicas, foi observado crescimento compensatórioem alevinos de acará severo após larvicultura em diferentes taxas de alimentação, peixes que inicialmente receberam 150 ou 250 náuplios de *Artemia* pos-larva$^{-1}$ dia$^{-1}$não apresentaramdiferenças para o ganho de peso e comprimento após 30 dias de alimentação à vontade com dieta balanceada, mas o custo de produção foi 42,11% menor para os peixes que receberem 150 náuplios de *Artemia* pos-larva$^{-1}$ dia$^{-1}$ (OLIVEIRA et al., 2020b). Dessa forma fica claro que o crescimento compensatório dos peixes pode ser utilizado para reduzir os custos de produção com alimento vivo durante a larvicultura. Porém, é necessário que mais estudos sejam desenvolvidos para determinar se esse tipo de estratégia é válida para outras espécies. Além disso, determinar as exigências nutricionais e aperfeiçoar o manejo produtivo dos peixes nas fases de alevinos e juvenis também é determinante para utilização dessa estratégia.

## 4 | MANEJO NUTRICIONAL DE ALEVINOS E JUVENIS

Na alevinagem o ideal é a utilização de rações extrusadas, uma vez que o processamento de extrusão melhora a digestibilidade dos nutrientes e possibilita que os peletes flutuem na água, facilitando a observação do comportamento alimentar dos peixes por parte do tratador.Juvenis de acará bandeira apresentaram melhor desempenho produtivo quando alimentados com dietas peletizadas ou extrusadas, comparados aos juvenis que receberam dietas fareladas (RODRIGUES E FERNANDES, 2007). Contudo, independente da forma ou processamento utilizado, é importante que a dieta fornecida atenda as exigências nutricionais dos animais. Para isso, estudos de determinação de exigências nutricionais são fundamentais.

A proteína é o nutriente essencial de maior custo na produção de rações, uma vez que os ingredientes proteicos são os mais onerosos. O suprimento de proteína, principal nutriente responsável pelo crescimento dos animais, é particularmente importante para peixes, pois estes apresentam maiores exigências nutricionais por proteínas que outros animais domésticos. Portanto, o conhecimento das exigências por proteína para as espécies amazônicas é de fundamental importância para a sustentabilidade econômica da criação. Até o momento, são conhecidas as exigências nutricionais de poucas espécies ornamentais amazônicas.

O nível ideal de proteína na dieta de juvenis de acará disco foi estimado entre 45 e 50% (CHONG et al., 2000). Para alevinos de acará bandeira, o nível ideal de proteína foi estabelecido, em três estudos independentes, entre 32 e 34% (ZUANON et al., 2006; RIBEIRO et al., 2007; FRANCA et al., 2017). Para juvenis da mesma espécie, ZUANON et al. (2009), observaram que o crescimento não diferiu entre os animais alimentados com dietas contendo 26, 30 e 34% de proteína. Estudos com acará severo também observaram a tendência de redução da exigência proteica em animais maiores,foram estimados níveisde proteína de 37 a 43% para alevinos e 34 a 38% para juvenis (SOUSA, 2016).Já para juvenis de oscar, o nível de 32% de proteína foi considerado ideal (FABREGAT et al., 2006). Por se tratar de uma espécie carnívora, seria esperado maior exigência por proteína do oscar que pelo acará bandeira, espécie onívora. Entretanto, as comparações entre espécies e estudos diferentes devem ser realizadas com cuidado, uma vez que diversos aspectos podem interferir nos resultados, como a qualidade dos ingredientes proteicos, a taxa e frequência alimentar empregadas e o nível de energia das dietas.

A energia contida na ração não é considerada um nutriente, mas sim o resultado da oxidação de carboidratos, lipídios e proteínas. Apesar da proteína ser caracterizada como nutriente estrutural, seu catabolismo gera energia e amônia, que é considerada toxica para os organismos aquáticos e excretada para o ambiente (WU, 2013). Assim, objetiva-se durante o processo de formulação de dietas, fazer com que a energia para o crescimento venha na sua maior parte de carboidratos e lipídios, objetivo alcançado especialmente via experimentos de determinação da relação ótima de energia:proteína.

A relação energia: proteína exigida pelos peixes é menor que aquela exigida por animais endotérmicos (aves e mamíferos), pois os peixes não gastam energia para manter a temperatura corporal constante. Além disso, necessitam de menos energia que os animais terrestres para manter a posição corporal na água e gastam menos energia para excretar os produtos nitrogenados, pois não precisam converter amônia em produtos menos tóxicos, como ureia ou ácido úrico. Dietas com relação energia: proteína menores que as exigências da espécie podem levar a redução da taxa de crescimento e aumento na excreção de amônia, devido ao maior uso da proteína como fonte energética. Neste caso, há o comprometimento da sustentabilidade econômica e ambiental da criação, uma vez que os peixes demorarão mais tempo para atingir o tamanho comercial e haverá eutrofização do ambiente de cultivo e dos efluentes da criação. Por outro lado, o excesso de energia poderá causar deposição excessiva de gordura corporal, reduzir o consumo de alimento e inibir a utilização de outros nutrientes (CHO, 1990). A relação ideal de energia:proteína foi avaliada em dietas para juvenis de oscar, os peixes alimentados com dietas contendo 8 kcal de energia por g de proteína apresentaram os melhores valores de desempenho

produtivo (NETO et al., 2013). Para juvenis de acará bandeira, dietas contendo 15 kcal $g^{-1}$ de proteína atendem as exigências nutricionais (ZUANON et al., 2009).

Embora o cenário da aquariofilia mundial esteja em franca expansão,para que a cadeia produtiva de peixes ornamentais amazônicos desenvolva todo o seu potencial, são necessáriospacotes tecnológicos de cultivo espécie-específicos. Além disso, o melhoramento genético das espécies ornamentais amazônicas e a consequente produção de linhagens cada vez mais exóticas, coloridas e adaptadas ao cativeiro também deve ser estimulado.Nesse contexto, universidades, institutos federais e demais centros de pesquisa,se destacam no desenvolvimento de estudos relevantes para o aprimoramento das técnicas de manejo produtivo e nutricional das espécies ornamentais. Os órgãos de fomento devem olhar com maior atenção para esse setor, assim como as fábricas processadoras de rações.O crescimento da piscicultura ornamental poderá colocar o Brasil entre os maiores produtores e exportadores de peixes ornamentais do mundo, contribuindo paralelamente para o desenvolvimento da região amazônica, via geração emprego e renda, além de contribuir para a manutenção e preservação dos estoques naturais de peixes ornamentais.

## REFERÊNCIAS


ABE, H.A.; DIAS, J.A.R.; CORDEIRO, C.A.M.; RAMOS, F.M.; FUJIMOTO, R.Y. (2015). *Pyrrhulinabrevis* (steindachner, 1876) como uma nova opção para a piscicultura ornamental nacional: larvicultura. *Boletim do Instituto da Pesca*, 41(1), 113-122.

ABE, H.A.; DIAS, J.A.R.; REIS, R.G.A.; SOUSA, C.N.; RAMOS, F.M.; FUJIMOTO, R.Y. (2016). Manejo alimentar e densidade de estocagem na larvicultura do peixe ornamental amazônico *Herosseverus*. *Boletim do Instituto De Pesca*, 42(3), 514–522.

ABE, H.A.; DIAS, J.A.R.; SOUSA, N.C.; COUTO, M.V.S.; REIS, R.G.A.; PAIXÃO, P.E.G.; FUJIMOTO, R.Y. (2019). Growth of Amazon ornamental fish *Nannostomus beckfordi* larvae (Steindachner, 1876) submitted to different stocking densities and feeding management in captivity conditions. *Aquaculture Research*, 50(8), 2276-2280.

ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R. J. (2003). Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and fisheries*, 4(2), 147-190.

ARAÚJO, J.G.; SANTOS, M.A.S.; REBELLO, F.K.; PRANG, G.; ALMEIDA, M.C.; ISAAC, V.J. (2020). Economic analysis of the threats posed to the harvesting of ornamental fish by the operation of the Belo Monte hydroelectric dam in northern Brazil. *FisheriesResearch*, 225(1), 1-7.

BEUX, L.F.; ZANIBONI-FILHO, E. (2006). Influência da baixa salinidade na sobrevivência de náuplios de *Artemia* sp. Boletim do Instituto de Pesca, 32(1), 73–77.

BEUX, L.F.; ZANIBONI FILHO, E. (2007). Survival and the growth of pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) post-larvae on different salinities. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50, 821-829.

BISWAS, A.K.; SEOKA, M.; INOUE, Y.; TAKII, K.; KUMAI, H. (2005). Photoperiod influences the growth, food intake, feed efficiency and digestibility of red sea bream (*Pagrus major*). Aquaculture, 250, 666-673.

CAMPELO, D.A.V.; MARQUES, M.H.C.; MARIM, O.P.; MOURA, L.B.; EIRAS, B.J.C.F.; BRABO, M.F.; VERAS, G.C. (2019a).Effects of Feeding Rates and Feeding Frequencies on Growth Performance, Uniformity of the Batch and Survival Rate of Amazon Ornamental Fish Larvae. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 11(2), 23-28.

CAMPELO, D.A.V.; SILVA, I.C.; MARQUES, M.H.C.; EIRAS, B.J.C.F.; BRABO, M.F.; MOURA, L.B.; VERAS, G.C. (2019b).Estratégias alimentares na larvicultura do peixe ornamental amazônico acará-severo (*Heros severus*) (Heckel, 1840). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(5), 1601–1608.

CAMPELO, D.A.V.; SALARO, A.L.; DE MOURA, L.B.; PONTES, M.D.; CARNEIRO, C.L.D.S.; FURUYA, W.M. (2020). Optimal dietary methionine+ cystine requirement for finishing lambari, *Astyanax altiparanae* (Garutti and Britski, 2000). *AquacultureResearch*, 51(1), 58-68.

CARNEIRO, P.C.F.; MIKOS, J.D. (2005). Freqüência alimentar e crescimento de alevinos de jundiá, *Rhamdia quelen*. *Ciência Rural*, 35(1) 187-191.

CHO, C.Y.; KAUSHIK, S.J. (1990). Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). In Aspects of food production, consumption and energy values (Vol. 61, pp. 132-172). Karger Publishers.

CHONG, A.S.C.; HASHIM, R.; ALI, A. B. (2000). Dietary protein requirements for discus (*Symphysodon* spp.). *Aquaculture Nutrition*, 6(4), 275-278.

CLOTFELTER, E.D.; ARDIA, D.R.; MCGRAW, K.J. (2007). Red fish, blue fish: trade-offs between pigmentation and immunity in *Betta splendens*. *Behavioral Ecology*, 18, 1139-1145.

DAGOSTA, F.C.; DE PINNA, M. (2019). The fishes of the Amazon: Distribution and biogeographical patterns, with a comprehensive list of species. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 431(1), 1-163.

DE FARIA, C.F.A.; PONTES, C.S.; RIBEIRO, K.; DE FARIA, P.M.C. (2019). Caracterização do mercado de aquicultura ornamental e aquariofilia no Rio Grande do Norte. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(1), 203-215.

DEY, V.K. (2016). The global trade in ornamental fish. *Infofish International*, 4, 52-55.

DHARMARAJ, S.; DHEVENDARAN, K. (2011). Application of microbial carotenoids as a source of colouration and growth of ornamental fish *Xiphophorus helleri*. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 3(2), 137-144.

DIEMER, O.; NEU, D.H.; SARY, C.; FINKLER, J.K.; BOSCOLO, W.R.; FEIDEN, A. (2012). Artemia sp. na alimentação de larvas de jundiá (*Rhamdiaquelen*). *Ciência Animal Brasileira*, 13(2):175-179.

EIRAS, B.J.C.F.; VERAS, G.C.; ALVES, A.X.; COSTA, R.M. (2019).Effect of artificial seawater and feeding frequency on the larval culture of freshwater Amazonian ornamental fish banded cichlid *Heros severus* (Heckel, 1840) and angelfish *Pterophyllum scalare* (Schultze, 1823). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(2), 1-8.

EVERS, H.G.; PINNEGAR, J.K.; TAYLOR, M.I. (2019). Where are they all from? Sources and sustainability in the ornamental freshwater fish trade. *Journal of Fish Biology*, 94(6), 909–916.

FABREGAT, T.E.H.P.; FERNANDES, J.B.K.; TIMPONE, I.T.; RODRIGUES, L.A.; PORTELLA, M.C. (2006). Utilização de água salinizada e náuplios de Artemia durante a larvicultura do acará-bandeira (*Pterophyllumscalare*). In: CYRINO, E.P.; SCORVO-FILHO, J.D.; SAMPAIO, L.A.; CAVALLI, R.O.

(eds) Tópicos Especiais em Biologia Aquática e Aquicultura II. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2006, p.105-110.

FRANCA, W.G.; DUTRA, F.M.; CAGOL, L.; RUIZ, M.L.; NETO, P.G.B.; PORTZ, L. (2017). Níveis de proteína digestível em dietas para acará-bandeira *Pterophyllumscalare* (Gunther, 1862). *ArchivesofVeterinary Science*, 22(3), 75-82.

FURUYA, W.M. (2010). Tabelas brasileiras para nutrição de Tilápias. 21 ed. Toledo: GFM, 100 p.

GONÇALVES JÚNIOR, L.P.; PEREIRA, S.L.; MATIELO, M.D.; MENDONÇA, P.P. (2013). Efeito da densidade de estocagem no desenvolvimento inicial do acará-bandeira (*Pterophyllum scalare*). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 65(4), 1176–1182.

HENDERSON, P.A.; HAMILTON, W.D.; CRAMPTON, W.G.R. (1998). Evolution and diversity in Amazonian floodplain communities. *Dynamics of Tropical Communities*. Oxford, Blackwell Science, 385-419.

HLPE. (2017). Nutrition and food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. 44th ed. Committee on World Food Security (CFS), Rome, 150p.

ITUASSÚ, D.R.; SANTOS, G.R.S.D.; ROUBACH, R.; PEREIRA-FILHO, M. (2004). Growth of tambaqui submitted to different feed deprivation periods. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(12), 1199-1203.

JAROSZEWSKA, M.; DABROWSKI, K. (2011) Utilization of yolk: transition from endogenous to exogenous nutrition in fish. In: Holt G.J. (ed), Larval Fish Nutrition. Wiley Backwell, United Kingdom. pp. 183-218.

JOMORI, R.K.; LUZ, R.K.; PORTELLA, M.C. (2012). Effect of salinity on larval rearing of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, a Freshwater Species. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43, 423-432.

JOMORI, R.K.; LUZ, R.K.; TAKATA, R.; FABREGAT, T.E.H.P.; PORTELLA, M.C. (2013). Água levemente salinizada aumenta a eficiência da larvicultura de peixes neotropicais. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 48, 809–815.

KAMRUNNAHAR, K.; MD, A.; JEONG, U.C.; KANG, S.J. (20190. Mass culture of *Moinama crocopa* using organic waste and its feeding effects on the performance of Pagrus major larvae. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45(1), 75–80.

KANDATHIL RADHAKRISHNAN, D.; AKBARALI, I.; SCHMIDT, B. V.; JOHN, E. M.; SIVANPILLAI, S.; THAZHAKOT VASUNAMBESAN, S. (2020). Improvement of nutritional quality of live feed for aquaculture: An overview. *Aquaculture Research*, 51(1), 1–17.

KESTEMONT, P.; BARAS, E. (2001). Environmental factors and feed intake: mechanisms and interactions. In: HOULIHAN. D.; GOUGARD. D.; M.; JOBLING, M. (Ed.). Food Intake in Fish. Oxford: Blackwell, p. 131-156.

KUBITZA, F. (2009). Manejo na produção do peixes: manejo nutricional e alimentar. *Panorama da Aquicultura*, 19, 14-27.

LADISA, C.; BRUNI, M.; LOVATELLI, A. (2017). Overview of ornamental species aquaculture. *FAO Aquaculture Newsletter*, 56, 38-39.

LE, T.H.; HOA, N.V.; SORGELOOS, P.; VAN STAPPEN, G. (2019). Artemia feeds: a review of brine shrimp production in the Mekong Delta, Vietnam. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1169-1175.

LEE, S.M.; HWANG, U.G.; CHO, S.H. (2000). Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 187(3–4), 399-409.

LIM, L. C.; DHERT, P.; SORGELOOS, P. Recent developments in the application of live feeds in the freshwater ornamental fish culture. *Aquaculture*, 227, 319-331.

LIMA, A. O.; BERNARDINO, G.; PROENÇA, C. E. M. Agronegócio de Peixes Ornamentais no Brasil e no Mundo. Panorama da Aquicultura. Ed. 65, 2001.

LIVENGOOD, E.J.; CHAPMAN, F.A. (2007). The ornamental fish trade : An introduction with perspectives for responsible aquarium fish. *University of Florida IFAS Extension*, p. 1–7.

LOPES, R.N.M.; FREIRE, R.A.B.; VICENSOTTO, J.R.M. et al. (1996). Alimentação de larvas de surubim *Peseudoplatystomacorruscans* (AGASSIZ, 1829) em laboratório na primeira semana de vida. Boletim Técnico CEPTA, 9, 11-29.

LOVELL, R.P. (1998). Nutrition and feeding of fish. 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, Boston, New York, 260p.

LUZ, R.K. (2007). Resistência ao estresse e crescimento de larvas de peixes neotropicais alimentadas com diferentes dietas. *Revista Agropecuária Brasileira*, 42(1), 65-72.

LUZ, R.K.; PORTELLA, M.C. (2002). Larvicultura de trairão (*Hopliaslacerdae*) em água doce e água salinizada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31, 829-834.

MARCHIORO, M.I.; BALDISSEROTTO, B. (1999) Sobrevivência de alevinos de jundiá (*Rhamdiaquelen*Quoy&Gaimard, 1824) à variação de salinidade da água. *Ciência Rural*, 29, 315-318.

MONTICINI, F. (2019). Breeding marine aquarium fishes: Opportunity or threat for the local fishing community. *InfofisH International*, 5(1), 32-36.

NETO, P.G.B.; DE SOUZA, R.H.B.; DE FREITAS, M.C.; DUTRA, F.M.; PORTZ, L. (2013). Crescimento de juvenis do apaiari alimentados com diferentes níveis de relação energia: proteína. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 2(3).

OLIVEIRA, L.C.C.; NETO, E.D.A.S.; JUNUIOR, A.D.S.P.; EIRAS, B.J.C.F.; VERAS, G.C.; DE MOURA, L.B.; CAMPELO, D.A.V. (2020a). Effect of prey concentrations and salinized water on initial development of *Pyrrhulin abrevis* (Steindachner, 1876), an Amazonian ornamental fish. *Research, Society and Development*, 9(8), e381985582-e381985582.

OLIVEIRA, L.C.C.; COSTA, L.G.B.; EIRAS, B.J.C.F.; BRABO, M.F.; VERAS, G.C.; DE MOURA, L.B.; SALARO, A.L.; CAMPELO, D.A.V. (2020b). Feeding strategy induces compensatory growth in *Herosseverus* fingerlings, an Amazonian ornamental fish. *Aquaculture Reports*, 18, 100436.

PAIXAO, D.J.M.R.; BRABO, M.F.; SOARES, L.M.O.; CAMPELO, D.A.V.; VERAS, G.C. (2019). Optimal feeding frequency for *Heros severus* (Heckel, 1840), an Amazon ornamental fish. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48, 20170055.

PEDREIRA, M.M.; DOS SANTOS, J.C.E.; SAMPAIO, E.V.; FERREIRA, F.N.; SILVA, J.D.L. (2008). Efeito do tamanho da presa e do acréscimo de ração na larvicultura de pacamã. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1144–1150.

PEREIRA, S.L.; GONÇALVES JUNIOR, L.P.; AZEVEDO, R.V.D.; MATIELO, M.D.; SELVATICI, P.D.C.; AMORIM, I.R.;MENDONÇA, P.P. (2016). Diferentes estratégias alimentares na larvicultura do acará-bandeira (*Peterolophyllumscalare*, Cichlidae). *Acta Amazonica*, 46(1), 91-98.

PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; FRACALOSSI, D.M.; CYRINO, J.E.P. (2004). Nutrição de peixes. Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. *TecArt*, 75-169.

PORTELLA, M.C.; LEITÃO, N.J.; TAKATA, R.; LOPES, T. (2012). Alimentação e nutrição de larvas. Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 185-216.

RAJA, K.; AANAND, P.; PADMAVATHY, S.; SAMPATHKUMAR, J.S. (2019). Present and future market trends of Indian ornamental fish sector. *InternationalJournalofFisheriesandAquaticStudies*, 7(2): 06-15.

RIBEIRO, F.A.S.; RODRIGUES, L.A.; FERNANDES, J.B.K. (2007). Desempenho de juvenis de acará-bandeira (*Pterophyllum scalare*) com diferentes níveis de proteína bruta na dieta. *Boletim do Instituto de Pesca*, 33(2), 195–203.

RIBEIRO, F.A.S.; CARVALHO JÚNIOR, J.R.; FERNANDES, B.K.; NAKAYAMA, L.(2008). Comércio brasileiro de peixes ornamentais. *Panorama da Aquicultura*, 18(110), 54–59.

RODRIGUES, L.A.; FERNANDES, J.B.K. (2007). Feeding your angelfish. World aquaculture.
ROSSATO, D. C. P.; OLIVEIRA, J. A. A fauna de peixes. In: NASCIMENTO, Ana Claudeíse Silva do et al (Org.). Sociobiodiversidade da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (1998-2018): 20 anos de pesquisas. IDSM, p.70-75.

ROSSATO, D.C.P.; OLIVEIRA, J.A.A.(2019). Fauna de peixes. In: NASCIMENTO, Ana Claudeíse Silva do et al (Org.). Sociobiodiversidade da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (1998-2018): 20 anos de pesquisas. Tefé: IDSM,70-75.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. (2015). Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos. FUNEP: Jaboticabal-SP, ed. 2, 262 p.

SALES, A.D.; VERAS, G.C.; BRABO, M.F.; ABRUNHOSA, F.A.; ALVES, A.X.; DIAS, B.C.B.; CAMPELO, D.A.V.; FERREIRA, M.S.S. (2016).Fotoperíodo e frequência alimentar na larvicultura do peixe beta. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia,* 68, 1062-1068.

SAMPAIO, C.L.S. et al. (2008). Guia para identificação de peixes ornamentais Brasileiros – Espécies Marinhas. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. Renováveis Centro Nacional de Informação, Tecnologias Ambientais e Editoração.

SANTOS, J.C.E.; LUZ, R.K. (2009).Effect of salinity and prey concentrations on *Pseudoplatystoma corruscans*, *Prochilodus costatus* and *Lophiosilurus alexandri larviculture*. *Aquaculture*, 287, 324-328.

SANTOS, J.C.E.; CORREIA, E.S.; LUZ, R.K.(2015).Effect of daily artemia nauplii concentrations during juvenile production of *Lophiosilurus alexandri*. *Boletim do Instituto da Pesca*, 41, 771 – 776.

SANTOS, E.L.; DA SILVA, L.L.A.; SOARES, E.C.; DE OLIVEIRA, W.D.S.; DE LIMA, M.R.; DE OLIVEIRA, J.M.; SANTOS, E.L. (2019). Frequência e horário de arraçoamento sobre o desempenho de machos *Bettasplendens*. *Biota Amazônia*, 9(3), 30-34.

SILVEIRA, U.S.; LOGATO, P.V.R.; PONTES, E.C. (2009). Alimentação das espécies de peixes no ambiente natural para o estabelecimento das dietas em cativeiro. *Revista Eletrônica Nutritime*, 6, 801-816.

SOUSA, J.A. (2016). Exigência de proteína bruta na dieta de alevinos e juvenis do ornamental amazônico acará severo (*Herosseverus*) (Heckel, 1840). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará.

SOUNDARAPANDIAN, P.; SARAVANAKUMAR, G. (2009). Effect of different salinities on the survival and growth of *Artemina* spp. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 1(2),20–22.

SOUZA-BASTOS, L.R.; FREIRE, C.A. (2009). The handling of salt by the neotropical cultured freshwater catfish *Rhamdia quelen*. *Aquaculture*, 289, 167-174.

TAYLOR, J.; MIGAUD, H. (2009). Timing and duration of constant light affects rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth during autumn–spring grow-out in freshwater. Aquaculture Research, 40, 1551-1558.

TESSER, M.B.; PORTELLA, M.C. (2006). Ingestão de ração e comportamento de larvas de pacuemresposta a estímulos químicos e visuais. *RevistaBrasileira de Zootecnia*, 35, 18871892.

TLUSTY, M.F.; RHYNE, A.L.; KAUFMAN, L.; HUTCHINS, M.; REID, G.M.; ANDREWS, C.; BOYLE, P.; HEMDAL, J.; MCGILVRAY, F.; DOWD, S.(2013). Opportunities for public aquariums to increase the sustainability of the aquatic animal trade. *Zoo Biology*, 32(1), 1–12.

TREECE, G.D.(2000).Artemia production for marina larval fish culture. SRAC Publ. No. 702. 8 pp.

VAN STAPPEN, G.; SUI, L.; HOA, V.N.; TAMTIN, M.; NYONJE, B.; MEDEIROS, R.R.; SORGELOOS, P.; GAJARDO, G. (2019). Review on integrated production of the brine shrimp Artemia in solar salt ponds. *Reviews in Aquaculture*, 1–18.

VARSAMOS, S.; NEBEL, C.; CHAMANTIER, G. (2005).Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 141, 401-429.

VELASCO-SANTAMARÍA, Y.; CORREDOR-SANTAMARÍA, W. (2011). Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review. *Revista MVZ Córdoba*, 16(2), 2458-2469.

VERAS, G.C.; MURGAS, L.D.S.; ROSA, P.V.; ZANGERONIMO, M.G.; FERREIRA, M.S.S.; SOLIS-DE LEON, J.A. (2013). Effect of photoperiod on locomotor activity, growth, feed efficiency, and gonadal development of Nile tilapia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42, 844-849.

VERAS, G.C.; PAIXAO, D.J.M.R.; BRABO, M.F.; SOARES, L.M.O.; SALES, A.D. (2016a). Influence of photoperiod on growth, uniformity, and survival of larvae of the Amazonian ornamental *Heros severus* (Heckel, 1840). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45, 422-426.

VERAS, G.C.; SOARES, L.M.O.; BRABO, M.F.; PAIXAO, D.J.M.R.; DIAS, B.C.B.; ALVES, A.X.; MURGAS, L.D.S.; CAMPELO, D.A.V. (2016b). Fotoperíodo e frequência alimentar na larvicultura do acará-bandeira *Pterophyllumscalare*. *Archivos de Zootecnia*, 65, 581-584.

VERAS, G.C.; BRABO, M.F.; DIAS, J.A.; ABE, H.A.; NUNES, Z.M.P.; MURGAS L.D.S. (2016c). The effect of photoperiod and feeding frequency on larval of the Amazonian ornamental fish *Pyrrhulin abrevis* (Steindachner, 1876). *AquacultureResearch*, 47, 797-803.

VIDAL, M.V. (2003). Peixes ornamentais: reprodução em aqüicultura. *Panorama da Aqüicultura*, 1(5), 22-27.

WU, G. (2013). Amino acids: biochemistry and nutrition. CRC Press.

ZUANON, J.A.S.; SALARO, A.L.; BALBINO, E.M.; QUADROS, A.S.M.; FONTANARI, R.L. (2006). Níveis de proteína bruta em dietas para alevinos de Acará-bandeira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(5), 1893-1896.

ZUANON, J.A.S.; SALARO, A.L.; MORAES, S.S.S.; ALVES, L.M.O.; BALBINO, E.M.; ARAÚJO, E.S. (2009). Dietary protein and energy requirements of juvenile freshwater angelfish. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(6), 989-993.

ZUANON, J.A.S.; SALARO, A.L.; FURUYA, W.M. (2011). Produção e nutrição de peixes ornamentais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 165–174.

# CAPÍTULO 13

# NUTRIÇÃO E MANEJO ALIMENTAR DE PEIXES AMAZÔNICOS

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de submissão: 23/10/2020*

**Elson Antônio Sadalla Pinto**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM
Manaus - Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-7474-5481

**Ariany Rabello da Silva Liebl**
Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Manaus - Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-5010-1294

**Marcelo Santos do Nascimento**
Universidade Nilton Lins
Manaus, Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-2668-5496

**Nathália Siqueira Flor**
Universidade Nilton Lins
Manaus, Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-0916-280X

**Paulo Henrique Rocha Aride**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM
Manaus - Amazonas
https://orcid.org/0000-0001-9752-5003

**Adriano Teixeira de Oliveira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM
Manaus - Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-4988-9878

**RESUMO:** A nutrição e o manejo alimentar estão entre os fatores determinantes para o sucesso produtivo de uma piscicultura. Assim, o presente estudo é uma revisão analítica de publicações indexadas na plataforma digital Google Scholar com abordagens sobre a nutrição e manejo alimentar dos peixes amazônicos tambaqui, matrinxã e pirarucu. Foram utilizadas *strings* de busca contendo palavras chaves relacionadas com o tema proposto para alcançar publicações dos últimos 30 anos. Para nutrição de peixes amazônicos foram encontradas pelo modo direto 591 publicações, das quais 127 foram publicações fiéis ao perfil de busca para o tambaqui, matrinxã e pirarucu. Observou-se que o tambaqui foi à espécie com maior quantidade de trabalhos indexados (86), seguido do pirarucu (16) e do matrinxã (15). Além das publicações encontradas para essas três espécies, outras publicações (11), também fiéis ao perfil de busca, foram encontradas para os híbridos tambatinga e tambacu, e para o tucunaré, a cachara e a pirapitinga. Para o matrinxã, observam-se maiores esforços de pesquisas direcionadas para o escopo proteínas. Para o pirarucu, um dos escopos mais observados foi a utilização de enzimas exógenas, tais como amilases, proteases e lipases, para auxiliar na digestibilidade de ingredientes de origens diversas. Embora existam publicações sobre exigência nutricionais, para a maioria dos nutrientes as informações são escassas ou conflitantes, requerendo mais pesquisas e uso de metodologias comparáveis entre si.

**PALAVRAS-CHAVE:** alimentação, piscicultura, Amazônia, produção.

## NUTRITION AND FOOD MANAGEMENT OF AMAZONIAN FISH

**ABSTRACT:** Nutrition and food management are among the determining factors for the productive

success of fish farming. Thus, the present study is an analytical review of publications indexed on the Google Scholar digital platform with approaches on the nutrition and food management of Amazonian fish tambaqui, matrinxã and pirarucu. Search strings containing keywords related to the proposed theme were used to reach publications from the last 30 years. For the nutrition of Amazonian fish, 591 publications were found, 127 of which were faithful to the search profile for tambaqui, matrinxã and pirarucu. It was observed that tambaqui was the species with the highest number of indexed works (86), followed by pirarucu (16) and matrinxã (15). In addition to the publications found for these three species, other publications (11), also true to the search profile, were found for the tambatinga and tambacu hybrids, and for the tucunaré, cachara and pirapitinga. For matrinxã, greater efforts are observed in research aimed at the scope of proteins. For pirarucu, one of the most observed scopes was the use of exogenous enzymes, such as amylases, proteases and lipases, to aid in the digestibility of ingredients from different sources. Although there are publications on nutritional requirements, for most nutrients the information is scarce or conflicting, requiring more research and the use of methodologies comparable to each other.
**KEYWORDS:** food, fish farming, Amazon, production.

## 1 I INTRODUÇÃO

A nutrição e o manejo alimentar estão entre os fatores determinantes para o sucesso produtivo de uma piscicultura (Aride et al., 2020). Nos últimos anos, os avanços no conhecimento técnico-científico nessas áreas têm sido responsáveis por melhorias dos índices produtivos obtidos ao longo do ciclo de cultivo. Por possuírem bons índices produtivos e excelente aceitação de mercado, os peixes amazônicos de piscicultura são de grande interesse econômico, sendo as espécies mais utilizadas na piscicultura o tambaqui *Colossoma macropomum*, o matrinxã *Brycon amazonicus* e o pirarucu *Arapaima gigas* (Maeda et al., 2009; Pantoja-Lima et al., 2015; Lima et al., 2020). A despeito das espécies exóticas, como a tilápia *Oreochromis niloticus* e a carpa *Cyprinus carpio*, cujo conhecimento sobre nutrição e manejo alimentar estão bem estabelecidos para todas as fases do ciclo produtivo, as espécies amazônicas ainda demandam extensas pesquisas nessas áreas (Nascimento et al., 2020).

O tambaqui *C. macropomum* é a espécie amazônica mais utilizada na piscicultura regional, o que justifica a existência de maior acervo científico, técnico e tecnológico sobre a biologia, nutrição, manejo alimentar e reprodutivo, entre outros aspectos importantes relacionados ao ciclo produtivo da espécie (Aride et al., 2020; Aride et al., 2018; Aride et al., 2016). O matrinxã *B. amazonicus* e o pirarucu *A. gigas*, por sua vez, são os peixes amazônicos com maior potencial de crescimento na piscicultura regional e nacional, apesar de ainda representarem a menor parcela no cenário produtivo (Pantoja-Lima et al., 2015).

Apesar da representativa informação existente sobre as espécies amazônicas, o pacote tecnológico de cultivo e produção ainda não é fechado para nenhuma destas espécies. Ademais conhecer e entender como se sucede a nutrição e o manejo alimentar das espécies amazônicas é fundamental para auxiliar a alavancar o setor da piscicultura na região. Assim o presente trabalho teve por objetivo realizar uma revisão analítica que investigou artigos abordando a nutrição e manejo alimentar dos peixes amazônicos tambaqui, matrinxã e pirarucu, publicados em plataforma digital.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Estratégias de busca

A revisão analítica foi realizada a partir de publicações indexadas nos últimos 30 anos (1989 - 2019) na plataforma digital (ou biblioteca digital) Google Scholar. Para reduzir a complexidade da busca foram utilizadas *strings* de busca (*search strings*) no idioma português, com palavras e termos separados pelo operador booleano 'OR' ou o caractere da tabela ASCII 'space'. De acordo com os objetivos da busca para identificar publicações com ingredientes e nutrientes em cada tópico desta revisão, as *strings* foram:

- Tópico 3.1: nutrição dieta ração amazônico (tambaqui OR pirarucu OR matrinchã OR matrinxã)
- Tópico 3.2: nutrição ingredientes substituição OR inclusão tambaqui OR pirarucu OR matrinchã OR matrinxã;
- Tópico 3.3: frequência alimentar OR quantidade de ração OR fornecimento de ração OR peso vivo dieta OR taxa tambaqui OR pirarucu OR matrinchã OR matrinxã;
- Tópicos 3.4 e 3.5: dieta ração tambaqui proteína OR vitamina OR lipídio OR carboidrato OR aminoácido OR enzima OR levedura OR probiótico.

O operador booleano NOT e o operador matemático de subtração (sinal -) foram utilizados para excluir termos não favoráveis na *string* para publicações com tema nutrição de peixes amazônicos (Tópico 3.1): -"semi-intensivo" -miogênico -sêmen -ribeirinho -sazonal -termoestável.

Foram coletados estudos nutricionais com espécies amazônicas produzidas em piscicultura (tambaqui, matrinxã e pirarucu) com as seguintes abordagens: ingredientes tradicionais e alternativos, frequência alimentar e quantidade da dieta, nutrientes na dieta para o tambaqui: níveis de proteínas, vitaminas, lipídios, carboidratos, aminoácidos, enzimas, probióticos e leveduras. Os estudos coletados foram analisados pelo modo direto (dados tais como observados e planilhados).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Nutrição de peixes amazônicos

A busca inicial pelas publicações científicas com escopo relacionado à *string* de maior abrangência – nutrição de peixes amazônicos – possibilitou uma visão geral sobre a quantidade e os enfoques das produções científicas no âmbito desta área nos últimos 30 anos. Em relação às publicações em nutrição de peixes amazônicos, foram encontradas 591 publicações, das quais 127 foram publicações fiéis ao perfil de busca para nutrição de peixes amazônicos para o tambaqui, matrinxã e pirarucu. O tambaqui foi a espécie com maior quantidade de trabalhos realizados (85), seguida do pirarucu (16) e do matrinxã (15). Outras publicações (11), também fiéis ao perfil de busca, foram encontradas para

os híbridos tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*) e tambacu (*Colossoma macropomum* x *Piaractus mesopotamocus*), tucunaré (*Cichla* spp.), cachara (*Pseudoplatystoma reticulatum*) e piraptinga (*Piaractus brachypomus*).

Com o presente trabalho de revisão foram observados escopos variados (Tabela 1) para nutrição das espécies analisadas, os quais vão desde assuntos relacionados às exigências nutricionais, tais como proteínas, aminoácidos, carboidratos, fibras, vitaminas e sais minerais, passando por assuntos relacionados ao uso de ingredientes alternativos, tais como farinha de resíduo de peixes, farinha de sangue e de osso, plantas, frutos, sementes, produtos e/ou resíduos de peixes e/ou agroflorestais, chegando aos assuntos voltados para o manejo alimentar, tais como frequência alimentar, parâmetros fisiológicos e bioquímicos de peixes amazônicos alimentados com ingredientes alternativos, enzimas exógenas e probióticos.

| **Escopo da publicação** | **Tambaqui** | **Matrinxã** | **Pirarucu** | **Híbridos e outras espécies** |
|---|---|---|---|---|
| Ingredientes alternativos - plantas, frutos, sementes, produtos ou resíduos de peixes ou agroflorestais | 38 | 2 | 3 | 2 |
| Proteínas e/ou Aminoácidos | 13 | 7 | 2 | 4 |
| Enzimas exógenas | 8 | - | 3 | 2 |
| Probióticos | 7 | - | - | - |
| Manejo Alimentar | 5 | 1 | 3 | 1 |
| Sais minerais (ferro e fósforo) | 5 | - | - | - |
| Vitaminas (C, D e E) | 4 | 2 | 1 | 1 |
| Beta-glucano e/ou nucleotídeos | 2 | - | - | - |
| Ácidos Graxos | 1 | - | - | - |
| Carboidratos | - | 1 | - | 1 |
| Gorduras | - | - | - | 1 |
| Energia | - | - | 2 | |
| Fibras | - | 1 | - | - |
| Outros assuntos | 4 | 2 | 5 | - |
| Total de publicações analisadas pelo modo direto | 85 | 15 | 16 | 11 |

Tabela 1. Escopos e frequência das publicações para *string* de maior abrangência - nutrição de peixes amazônicos (PAM) tambaqui, matrinxã e pirarucu.

Observações: 127 publicações analisadas. Algumas publicações abordavam mais de um escopo. “Outros assuntos” correspondem aos aspectos gerais da biologia, fisiologia e nutrição, processamento e silagem, manejo comportamental e produção no cultivo. “Híbridos e outras espécies”: tambatinga, tambacu, tucunaré (*Cichla* spp.), cachara (*Pseudoplatystoma reticulatum*) e piraptinga (*Piaractus brachypomus*).

O tambaqui, além de ser a espécie amazônica mais estudada, possui o escopo ingredientes alternativos como o assunto mais abordado nos estudos nutricionais para a espécie. Estes estudos visam avaliar a inclusão ou substituição de ingredientes tradicionais comumente utilizados nas rações comerciais para peixes por ingredientes alternativos,

como plantas, frutos, sementes, produtos e/ou resíduos de peixes e/ou agroflorestais, que, majoritariamente, são oriundos da biodiversidade amazônica.

Para o matrinxã, observou-se que a maioria dos esforços de pesquisas estão direcionados para o escopo proteínas e/ou aminoácidos, com a finalidade de identificar o nível ideal destes nutrientes para a nutrição balanceada da espécie. Para o pirarucu, o escopo mais comum foi à utilização de enzimas exógenas, tais como amilases, proteases e lipases, para auxiliar na digestibilidade de ingredientes de origens diversas com a finalidade de propor formulações de rações economicamente viáveis e com os nutrientes balanceados com a demanda nutricional da espécie. Para o pirarucu, as pesquisas voltadas para avaliação de ingredientes alternativos, como a substituição de farinha de peixe por proteínas de origem vegetal, como o farelo de soja, resíduo de castanha, ou por proteínas de origem animal, como a farinha de sangue ou de ossos, também têm sido encontradas nas publicações sobre a nutrição da espécie.

### 3.2 Ingredientes tradicionais e alternativos

Tradicionalmente, dietas comerciais para peixes são elaboradas com ingredientes proteicos, como a farinha de peixes e a soja, e ingredientes energéticos, como o milho e o trigo. Para confecção de dietas para peixes na região amazônica os ingredientes tradicionais são importados de regiões produtoras dos insumos, o que aumenta o custo final do produto (Pezzato et al., 2009; Boscolo et al., 2011). Os ingredientes utilizados como alternativos em pesquisas científicas são provenientes de recursos da biodiversidade amazônica ou de subprodutos de processamentos industriais, de origem animal (como a farinha de sangue) ou vegetal (como a castanha da Amazônia), e incluídos e/ou substituídos em quantidades nas dietas (Maeda et al., 2009; Guimarães e Filho, 2004).

Dentre as publicações em nutrição, os estudos com ingredientes, tradicionais ou alternativos, são maioria e evidenciam resultados satisfatórios de crescimento (Tabela 2). Do total de 1270 resultados exibidos com a *string* “nutrição ingredientes substituição OR inclusão tambaqui OR pirarucu OR matrinchã OR matrinxã” no Google Scholar, 83 publicações descrevem os efeitos dos ingredientes tradicionais e alternativos no desempenho produtivo de peixes amazônicos, sendo 70 para o tambaqui, 9 para o pirarucu e 4 para o matrinxã.

Os estudos publicados com ingredientes alternativos objetivam encontrar alimentos que barateiem os custos com a ração, reduzam os impactos ambientais e viabilizem o uso de produtos regionais (Backes et al., 2007; Santos et al., 2010; Pereira-Junior et al., 2013; Jobling, 2016; Costa et al., 2018). Dentre as publicações com ingredientes tradicionais e alternativos para peixes amazônicos, 59 são publicações com ingredientes alternativos para tambaqui, 5 para pirarucu e 3 para matrinxã. Estes resultados refletem a existência de uma diversidade de estudos testados para o uso de ingredientes alternativos para o cultivo do tambaqui, acompanhado da carência de publicações com ingredientes das dietas para a matrinxã e pirarucu. O maior volume de pesquisas encontradas com o tambaqui se deve ao fato de a espécie amazônica ser a mais produzida e por ainda possuir potencial para se expandir na piscicultura (FAO, 2018).

Os ingredientes das dietas dos peixes podem ser classificados, de acordo com

a quantidade de proteína e de energia que o compõem, como proteicos (acima de 20% de proteína) e energéticos (abaixo de 20% de proteína). Nos estudos analisados, os principais ingredientes alternativos utilizados foram a mandioca e a castanha, que são energéticos e proteicos, e apresentaram percentual relativo de publicações de 4,1% e 1,8%, respectivamente. Na sequência estão os ingredientes energéticos tucumã e manga, e o ingrediente proteico cupuaçu; todos com percentual relativo de publicações de 1,36%. Outros ingredientes foram testados, como o farelo de babaçu, farinha de leucina, farinha de folha de leucina, farelo de folha de bananeira, farinha de licuri, farinha de peixes, camarão, resíduos de abacaxi e de maracujá, frutos e sementes de áreas alagadas, como o catoré, o camu-camu, a embaúba, jauari e munguba, seringa barriguda, feijão-caupi, farinha de pupunha, quirera e farelo de arroz, girassol, farelo de palmiste. Todos estes ingredientes citados foram avaliados para o tambaqui.

| **Desempenho do tambaqui** | **Ingrediente Alternativo** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Farelo de babaçu (%) | | | | |
| | **0** | | **6** | | **12** |
| Peso Inicial (g) | 24,25 | | 24,37 | | 24,12 |
| Peso Final (g) | 39,37 | | 40,37 | | 43,05 |
| CAA | 2,11 | | 1,54 | | 1,35 |
| Ganho de Peso (g) | 15,12 | | 16,00 | | 18,92 |
| | Autores (ano): Lopes et al., 2010. | | | | |
| | Recomendação dos autores: 12% de substituição | | | | |
| | Feijão-caupi (%) | | | | |
| | **5** | **10** | **15** | **20** | **25** |
| Peso Inicial (g) | 9,7 ± 0,3 | 9,7 ± 0,2 | 9,6 ± 0,2 | 9,5 ± 0,1 | 9,8 ± 0,1 |
| Peso Final (g) | 19,1 ± 0,91 | 18,4 ± 2,8 | 17,4 ± 2,9 | 17,9 ± 2,0 | 19,7 ± 0,2 |
| CAA | 1,6 ± 0,1 | 1,7 ± 0,5 | 2,2 ± 1,0 | 1,8 ± 0,3 | 1,5 ± 0,1 |
| Ganho de Peso(g) | 9,3 ± 0,9 | 8,7 ± 3,0 | 7,7 ± 3,1 | 8,4 ± 2,1 | 10,0 ± 0,3 |
| | Autores (ano): Dairiki et al., 2013 | | | | |
| | Recomendação dos autores: 25% de substituição | | | | |
| | Farelo de côco (%) | | | | |
| | 0 | 25 | 50 | 100 | |
| CAA | 1,17 ± 0,09 | 1,17 ± 0,13 | 1,26 ± 0,19 | 1,40 ± 0,26 | |
| Ganho de Peso Diário (g) | 2,16 ± 0,27 | 2,10 ± 0,37 | 2,00 ± 0,33 | 1,86 ± 0,44 | |
| | Autores (ano): Lemos et al., 2011 | | | | |
| | Recomendação dos autores: 0% de substituição | | | | |
| | Torta de cupuaçu (%) | | | | |
| | **0** | **10** | **20** | **30** | |
| CAA | 2,60:1a | 3,16:1b | 3,13:1b | 3,57:1b | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ganho de Peso (g) | 69,63 ± 18,8a | 56,9 ± 17,8b | 57,4 ± 17,1b | 50 ± 15,4b | |
| | Autores (ano): Xavier et al., 2016 | | | | |
| | Recomendação dos autores: 25% de substituição | | | | |
| | Torta de tucumã (%) | | | | |
| | **0** | **25** | **50** | **75** | **100** |
| CAA | 1,40 ± 0,2a | 1,47 ± 0,1a | 1,88 ± 0,3b | 1,92 ± 0,3b | 2,02 ± 0,4b |
| Ganho de Peso (g) | 443 ± 2,4a | 526,5 ± 2,9a | 306 ± 2,0b | 348,3 ± 1,3b | 288 ± 1,6b |
| | Autores (ano): Xavier et al., 2019 | | | | |
| | Recomendação dos autores: 25% de substituição | | | | |
| | Farelo de Licuri (%) | | | | |
| | **0** | **33,33** | **66,66** | **100** | |
| Peso Inicial (g) | 3,18 ± 0,5 | 3,18 ± 0,6 | 3,18 ± 0,7 | 3,18 ± 0,8 | |
| Peso Final (g) | 31,72 ± 2,81 | 32,95 ± 1,33 | 30,31 ± 1,74 | 27,84 ± 0,5 | |
| CAA | 1,89 | 1,88 | 2,2 | 1,93 | |
| Ganho de Peso (g) | 26,59 ± 5,03 | 27,88 ± 4,94 | 24,78 ± 4,74 | 23,37 ± 2,29 | |
| | Autores (ano): Campeche et al., 2014 | | | | |
| | Recomendação dos autores: 100% de substituição | | | | |
| | Crueira de mandioca (%) | | | | |
| | **20** | **40** | **60** | **80** | **100** |
| Peso Inicial (g) | 6,6 ± 0,1 | 6,6 ± 0,1 | 6,6 ± 0,1 | 6,7 ± 0,1 | 6,6 ± 0,1 |
| Peso Final (g) | 30,4 ± 9,6 | 34,4 ± 6,3 | 37,2 ± 6,5 | 35,7 ± 2,5 | 35,1 ± 6,7 |
| CAA | 1,1 ± 0,1 | 1,0 ± 0,1 | 1,1 ± 0,0 | 1,1 ± 0,0 | 1,1 ± 0,1 |
| Ganho de Peso (g) | 23,8 ± 8,1 | 27,8 ± 5,1 | 30,6 ± 4,1 | 29,0 ± 1,9 | 28,5 ± 6,7 |
| | Autores (ano): Pereira-Junior et al., 2013 | | | | |
| | Recomendação dos autores: 100% de substituição | | | | |

Tabela 2. Desempenho de tambaqui diante dos níveis de substituição do ingrediente alternativo.

Legenda: CAA: Conversão alimentar aparente; Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

De acordo com esta revisão, ingredientes como a mandioca, o babaçu, feijão-caupi, e o licuri podem ser utilizados integralmente na formulação das rações para o tambaqui proporcionando desempenho satisfatório. No entanto, alguns ingredientes podem resultar em piora nas variáveis de desempenho zootécnicos devido a fatores antinutricionais, como é o caso da torta do cupuaçu e do tucumã. Para ingredientes como o côco, embora do ponto de vista biológico possam ser incluídos em dietas para tambaqui, são economicamente inviáveis como ingredientes alternativos. Outras publicações utilizando ingredientes alternativos são direcionadas para a saúde e bem-estar do tambaqui, digestibilidade, rendimento de carcaça, composição de filé, a castanha da Amazônia (Santos et al., 2010) e o camu-camu (Aride et al., 2018).

## 3.3 Manejo alimentar

Aspectos nutricionais como o manejo alimentar são fatores que refletem diretamente a eficácia dos nutrientes oferecidos na alimentação, influenciando o desempenho do peixe (Cho et al., 2003). O desperdício de ração pode deteriorar a qualidade da água causando impacto ambiental, além de interferir nos custos da produção, uma vez que a alimentação representa a maioria dos gastos na piscicultura (cerca de 70%) (Cho et al., 2003; Crescêncio et al., 2005). A adequação do manejo alimentar das espécies de peixes é uma das maneiras mais eficazes de minimizar os custos de produção, aumentar a produtividade e maximizar a lucratividade, assim como minimizar o potencial poluente das rações, permitindo o aumento da produtividade (Kubitza,1997).

Utilizando a *string* específica para menejo alimentar no Google Scholar, 36 publicações correspondem a estudos sobre a frequência alimentar e a quantidade de dieta para os peixes amazônicos, sendo 22 para o tambaqui, 10 para o pirarucu e 4 para o matrinxã. O matrinxã, apesar de ser a segunda espécie mais criada na região amazônica, ter comportamento agressivo, mas excelente sabor da carne (Hoshiba et al, 2007), detém poucos estudos sobre o manejo alimentar, principalmente os que envolvem efeitos de diferentes taxas de alimentação, desempenho de produção e aspectos econômicos relacionados aos diferentes tipos de cultivo.

A Tabela 3 demonstra os resultados de estudos sobre o manejo alimentar dos peixes amazônicos em diferentes sistemas de cultivo. Para o tambaqui, os dados evidenciam que é possível gerenciar a taxa de alimentação por etapas de cultivo que proporcionam melhor conversão alimentar aparente e biomassa final. A taxa utilizada para tambaquis pensando entre 50 a 250 g, é de 5% do PV (peso vivo)/dia; a taxa para peixes pesando de 250 a 1000 g é de 2,0% do PV/dia; e a taxa para peixes com pesos de 1000 g até o peso de abate (2000 g) é de 1,5% do PV/dia. Para o matrinxã, alguns autores realizaram investigações relacionadas à alimentação na natureza e a aspectos da nutrição em piscicultura (Cyrino et al., 1986), no entanto, especificamente sobre o manejo alimentar, a busca atual por informações nas plataformas digitais apontaram apenas publicações realizadas por Frascá-Scorvo et al. (2001, 2007), que estudaram o comportamento e manejo alimentar dessa espécie. Para o pirarucu, apesar de estar entre as espécies de maior potencial para o desenvolvimento da piscicultura na Amazônia, pouco se conhece a respeito da preferência alimentar natural do pirarucu, quanto ao horário de alimentação, e sobre o efeito que diferentes manejos alimentares podem causar no desempenho zootécnico dessa espécie (Crescêncio et al., 2005).

| Peixe amazônico | Frequência alimentar (fase de produção: vezes por dia) | Quantidade da dieta (% em relação ao peso vivo) |
|---|---|---|
| Tambaqui | **Inicial** | **Inicial** |
| | Autores (Ano): Melo et al., 2001 | Autores (Ano): Oliveira e Sousa, 2017 |
| | Recomendações dos autores: 4 vezes por dia | Recomendações dos autores: 5 % PV |
| | **Crescimento** | **Crescimento** |
| | Autores (Ano): Souza et al., 2014 | Autores (Ano): Oliveira e Sousa, 2017 |
| | Recomendações dos autores: 2 vezes ao dia | Recomendações dos autores: 2% PV |
| | **Final** | **Final** |
| | Autores (Ano): Chagas et al., 2007 | Oliveira e Sousa, 2017 |
| | Recomendações dos autores: 2 vezes ao dia | Recomendações dos autores: 1,5 % PV |
| Matrinxã | **Inicial** | **Inicial** |
| | Autores (Ano): Frascá-scorvo et al., 2001 | Autores (Ano): Frascá-scorvo et al., 2007 |
| | Recomendações dos autores: 2 vezes ao dia | Recomendações dos autores: 1,69 % PV |
| | **Crescimento** | **Crescimento** |
| | Autores (Ano): Frasca-scorvo et al., 2007 | Autores (Ano): Frasca-scorvo et al., 2007 |
| | Recomendações dos autores: 1 vez ao dia | Recomendações dos autores: 1,69 % PV |
| Pirarucu | **Inicial** | **Inicial** |
| | Autores (Ano): Lima et al., 2017 | Autores (Ano): Imbiriba, 2001 |
| | Recomendações dos autores: 4 a 6 vezes por dia | Recomendações dos autores: 8 a 10% PV |
| | **Crescimento** | **Crescimento** |
| | Autores (Ano): Rodrigues et al., 2019 | Autores (Ano): Lima et al., 2017 |
| | Recomendações dos autores: 3 vezes ao dia | Recomendações dos autores: 3 a 4% PV |
| | **Final** | **Final** |
| | Autores (Ano): Lima et al., 2017 | Autores (Ano): Scorvo-filho et al., 2004 |
| | Recomendações dos autores: 2 vezes ao dia | Recomendações dos autores: 2 % PV |

Tabela 3. Percentual da relação entre as publicações com frequência alimentar e quantidade da dieta e as publicações com nutrição de peixes amazônicos para cada fase de produção dos peixes amazônicos.

## 3.4 Nutrientes na dieta para tambaqui: proteínas, vitaminas, lipídios e carboidratos

O tambaqui é um peixe com adaptações morfológicas que propiciam o hábito alimentar

onívoro. Quando na natureza, se alimenta de frutos e sementes durante a enchente e cheia dos rios e, nos períodos da vazante e seca, consome quantidade maior de zooplâncton (Rodrigues et al., 2014; Buzollo et al., 2018). Na fase inicial da vida o tambaqui se alimenta através de estruturas filtrantes localizadas em suas brânquias, que se tornam canais de entrada para a proteína proveniente de pequenos organismos animais (Araújo-Lima e Gomes, 2005). Em confinamento, o tambaqui não necessita de treinamento alimentar na fase inicial, contrariando o que ocorre com peixes carnívoros como o pirarucu. Também não foram encontrados registros sobre canibalismo para o tambaqui, contrariando o que ocorre com algumas espécies como o matrinxã. O tambaqui possui excelente aceitação a dieta comercial, que é a principal fonte de nutrientes para peixes de piscicultura.

A proteína, macronutriente composto por aminoácidos, fornece nutrientes essenciais para a síntese proteica corporal e a qualidade e a quantidade na dieta interferem no desempenho do peixe (Amancio et al., 2019). Para o tambaqui, segundo Van Der Meer, Zamora e Verdegem (1997), o teor de proteína influencia diretamente no consumo da dieta. Esta influência não foi observada por Lima et al. (2016) para tambaquis com peso inicial de 0,35 ± 0,09 g nos níveis testados (20, 24, 28, 32, 36 e 40 % de proteína bruta) e por tambaquis com peso inicial entre 2 e 20g (30, 35, 40 e 45 % de proteína bruta). No entanto, Buzollo et al. (2018) registraram aumento do consumo diário da dieta, ganho de peso e taxa de crescimento específico, além de favorecimento da hipertrofia muscular, para tambaquis com peso inicial de 6,53 ± 0,43 g sob 29 % de proteína (Tabela 4). Para tambaquis com peso inicial de 36,91 a 37,15g e peso final de 196,41 a 240, 97 g, Vidal et al. (1998) concluíram que a relação da eficiência proteica reduziu com aumento da proteína dietética nos níveis testados (18, 21, 24, 27, 30% de proteína na dieta). Segundo os autores, para a faixa de peso estudada, 25,01% de proteína bruta na dieta atenderam à exigência dos tambaquis (Tabela 4).

| **Desempenho do tambaqui (PI: 0,35 ± 0,09 g)** | **Proteína na dieta de tambaqui (%)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **20,00** | **24,00** | **28,00** | **32,00** | **36,00** | **40,00** |
| Ganho de Peso (g) | 10.23 | 11.38 | 13.51 | 13.66 | 15.45 | 15.17 |
| CAA (g/g) | 1.46 | 1.25 | 1.02 | 1.13 | 0.92 | 0.89 |
| EP (%) | 3.43 | 3.41 | 3.56 | 2.77 | 3.02 | 2.82 |
| Consumo da dieta (g) | 14.90 | 13.90 | 13.58 | 15.39 | 14.20 | 13.47 |
| | **Autores (ano):** Lima et al. (2016) | | | | | |
| | **Recomendação dos autores: 31,57% de proteína, com relação ED: PB de 9,50 kcal de ED/g de PB.** | | | | | |

| **Desempenho do tambaqui (PI: 2 - 20 g)** | **Proteína na dieta de tambaqui (%)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **30,00** | **35,00** | **40,00** | **45,00** |
| Ganho de Peso (g) | 17.28 ± 1.75 | 18.27 ± 1.71 | 18.55 ± 1.14 | 16.33 ± 0.78 |

| Peso final (g) | 18.97 ± 1.78 | 18.27 ± 1.71 | 18.55 ± 1.14 | 16.33 ± 0.78 |
|---|---|---|---|---|
| CAA (g/g) | 1.89 ± 0.08 | 1.95 ± 0.13 | 1.92 ± 0.09 | 1.93 ± 0.08 |
| Consumo diário da dieta (g/peixe) | 32.68 ± 3.08 | 32.31 ± 2.38 | 32.07 ± 1.02 | 28.32 ± 1.99 |

**Autores (ano):** Amancio et al. (2019)

**Recomendação dos autores: 30% de proteína para tambaqui pesando entre 2 e 20 g.**

| **Desempenho do tambaqui (PI: 6.53 ± 0.43 g)** | **Níveis de proteína digestível na dieta de tambaqui (%)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **14,00** | **17,00** | **20,00** | **23,00** | **26,00** | **29,00** | **32,00** |
| Ganho de Peso (g) | 48,06 ± 4,18 | 70,16 ± 2,54 | 84,09 ± 2,25 | 108,35 ± 3,58 | 131,15 ± 3,43 | 168,06 ± 5,77 | 157,63 ± 11,89 |
| CAA (g/g) | 1,45± 0,07$^{c}$ | 1,21± 0,05$^{b}$ | 1,17± 0,07$^{ab}$ | 1,11± 0,03$^{ab}$ | 1,08± 0,03$^{a}$ | 1,19± 0,05$^{ab}$ | 1,10± 0,08$^{ab}$ |
| EP (%) | 4,09± 0,20$^{a}$ | 4,11± 0,20$^{a}$ | 3,69± 0,22$^{b}$ | 3,41± 0,08$^{bc}$ | 3,11± 0,10$^{c}$ | 2,55± 0,12$^{d}$ | 2,55± 0,18$^{d}$ |
| Consumo diário da dieta (g) | 0.61 ± 0.05$^{f}$ | 0.71 ± 0.05$^{f}$ | 0.82 ± 0.07$^{e}$ | 1.00 ± 0.05$^{d}$ | 1.18 ± 0.05$^{c}$ | 1.67 ± 0.04$^{a}$ | 1.44 ± 0.06$^{b}$ |

**Autores (ano):** Buzollo et al. (2018)

**Recomendação dos autores: 29 e 32% de proteína digestível favorece a hipertrofia do músculo e o desempenho do peixe.**

| **Desempenho do tambaqui (PI: 37,5 g)** | **Proteína na dieta de tambaqui (%)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **18,00** | **21,00** | **24,00** | **27,00** | **30,00** |
| Ganho de Peso (g) | 159,26 | 203,72 | 200,15 | 192,39 | 189,02 |
| CAA (g/g) | 1,69 | 1,89 | 1,71 | 1,67 | 1,71 |
| Relação de Eficiência Proteica (g/g) | 3,55 | 2,94 | 2,82 | 2,45 | 1,97 |
| Consumo diário da dieta (g) | 264,67 | 328,23 | 296,70 | 291,50 | 324,33 |

**Autores (ano):** Vidal et al. (1998)

**Recomendação dos autores:** 25,01% de proteína bruta supriram a necessidade de proteica dos peixes.

Tabela 4. Desempenho produtivo de tambaqui alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteínas.

Legenda: PI: Peso inicial; CAA: Conversão alimentar aparente; EP: Eficiência da proteína (%); Energia digestível (ED); Proteína bruta (PB). Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

A demanda proteica do peixe diminui na mesma proporção em que o corpo do

animal cresce. Oishi, Nwanna e Pereira Filho (2010) investigaram níveis de proteína para tambaquis na fase de crescimento, com peso inicial de 46,4 ± 6,3g, e constataram que o ponto de inflexão da curva de ganho de peso indicou 30% PB como melhor resultado nesta fase de crescimento. A necessidade de proteínas para tambaqui com peso inicial de 225,33 g ± 11,31, cultivados até atingirem ≈ 1000 g na fase final, foi investigada por Sousa et al. (2015) que não verificaram diferença no desempenho para os níveis testados de 28% e 32% PB, concluindo que 28% é economicamente viável. Semelhantemente ocorreu com Bezerra Neto et al. (2017) que avaliaram tambaquis na fase final com peso inicial de ≈1,000 g, e não encontrando diferença significativa, concluíram que 22% PB é economicamente mais viável para a produção.

Mesmo os nutrientes exigidos em menor quantidade pelo organismo, como as vitaminas, têm sua importância assegurada na nutrição de peixes. As vitaminas hidrossolúveis (tais como o ácido ascórbico, tiamina, riboflavina, ácido pantotênico, piridoxina, ácido fólico, cobalamina, niacina e biotina) não são depositadas no corpo do animal sendo necessária sua ingestão diária (Pezzato et al., 2004). Nos peixes, a síntese do ácido ascórbico é limitada pela ausência da enzima L-gulonolactona oxidase, e a carência desta vitamina pode ocasionar erosão das nadadeiras, lordose, escoliose, anemia redução no crescimento, entre outras avitaminoses (Chagas e Val, 2003; Falcon, et al., 2007; Dairiki e Silva, 2011). Para o tambaqui, Chagas e Val (2003) verificaram que a ausência de ácido ascórbico nas dietas reduziu hematócrito e eritrócitos, caracterizando anemia, e aumentou o volume corpuscular médio. As vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) são depositadas no fígado dos peixes. Melhorias na condição fisiológica sob alimentação com associação das vitaminas C (ácido ascórbico), E (tocoferol) e o mineral ferro foram verificadas para tambaqui por Aride (2003). Paralelamente ao ferro, outros minerais têm sido investigados para dietas de tambaqui, como ocorre com o fósforo (Sousa, et al., 2019). As vitaminas e minerais podem ser adicionados nas dietas comerciais como premix (Dairiki e Silva, 2011).

Lipídios e carboidratos são os principais nutrientes energéticos da dieta dos peixes, que possuem maior exigência de energia na fase adulta (Araújo-Lima e Gomes, 2005; Dairiki e Silva, 2011). Silva Camargo et al. (1998) analisaram juvenis de tambaqui com pesos na faixa de 30 a 180 g e concluíram que o nível de 3.300 kcal de EM/kg proporcionou as melhores respostas para ganho, conversão alimentar e taxa de deposição proteica. Almeida et al. (2011) investigou o comportamento de juvenis de tambaqui alimentados com dietas isoenergéticas em diferentes níveis de proteínas (35, 30, 25, 20,5%) e lipídios (4, 8, 11 e 14,5%) e constatou que o aumento de lipídio dietético diminuiu o ganho de peso dos animais e aumentou a glicólise, glicogenólise hepática, glicogênese e neoglicogênese muscular. Os lipídios da dieta estão fortemente correlacionados com a lipase do trato digestório dos tambaquis, como observado por Almeida, Lundstedt e Moraes (2006). Sandre et al. (2017) avaliaram tambaqui (peso: entre 10 e 250g) nutridos com níveis de carboidratos (41,0, 46,0 e 51,0 %) e de lipídios (4,0 e 8,0 %), e encontraram os níveis de 46% (460 g/kg) de carboidratos e 4% (40 g/kg) de lipídios como os ideias para o cultivo da espécie. Nutrientes energéticos corretamente balanceados na dieta são poupadores de proteínas, maximizando a eficiência proteica e reduzindo a excreção de nitrogenados no meio.

### 3.5 Aminoácidos, enzimas exógenas, probióticos e leveduras

Dentre as 1890 respostas emitidas pela plataforma Google Scholar para publicações verificadas utilizando a *string* específica para tambaqui, foi encontrada uma soma de 62 publicações sobre os nutrientes proteína (18), vitamina (5), lipídio (7), carboidrato (3), aminoácido (10), enzima exógena (4), levedura (2) e probiótico (13). Além destas, foram encontradas publicações com minerais como ferro (1) e fósforo (3). A baixa quantidade de estudos com nutrientes para o tambaqui indexadas nas plataformas expõe a carência de tais informações. Esta escassez, adicionada ao fato do tambaqui ser o peixe verificado com maior volume de pesquisas indexadas, permite sugerir que as publicações para os demais peixes nativos amazônicos tendem a ser ainda menores do que os apresentadas nesta revisão. Paralelamente, a variedade de espécies amazônicas com potencial para piscicultura eleva os desafios dos nutricionistas durante a formulação de dietas (Bittencourt et al, 2010; Boscolo et al, 2011) e propiciam que dietas para peixes altamente produtivos, como o tambaqui, deixem de ser elaboradas de forma específica, dessa forma não atendendo as exigências nutricionais, acarretando prejuízos para o setor piscícola.

A exigência de nutrientes para peixes é embasada no desempenho animal em relação ao nutriente testado e tem sido associado a análises bioquímicas, como a composição corporal, e fisiológicas, como a hematologia, além de análises genéticas e metabólicas (Boscolo et al., 2011; NRC, 2011; Puppo et al., 2017). Para aminoácidos o conceito de proteína ideal é utilizado mantendo a lisina como aminoácido referência (Silva et al., 2018; Souza et al., 2019). Silva et al. (2018) avaliaram a necessidade de lisina para tambaqui com peso inicial de 0.34 ± 0.02g utilizando seis dietas (1,30; 1,48; 1,60; 1,84; 2,02; e 2,20% de lisina digestível) elaboradas com base no conceito de proteína ideal.  Dietas estimadas em 1,73 e 1,78% de lisina digestível (2,00% de lisina total) maximizaram, respectivamente, o ganho de peso e a deposição proteica, enquanto a conversão alimentar foi melhor em tambaquis alimentados com dietas com lisina digestível 1,66%. Para que o organismo do peixe otimize os aminoácidos da dieta é necessário que estes estejam balanceados entre si. Souza et al. (2019) avaliaram metionina + cistina para juvenis de tambaqui e concluíram que a melhor relação destes aminoácidos com a lisina digestível é de 64,8%.

Ainda que o tambaqui seja resistente a condições ambientais desfavoráveis para outras espécies de peixes, algumas estratégias de intensificação da piscicultura podem resultar em surgimentos de doenças e diminuição da produção (Azevedo et al., 2016). Dentre os nutrientes que podem mitigar ou sanar tais entraves estão os prebióticos, simbióticos e probióticos. Os probióticos são microrganismos vivos que atuam sobre a microbiota intestinal, e podem ser incorporados a dieta na forma de aditivos ou acrescentado a água de manutenção (Nawaz et al., 2018). Embora bactérias do gênero Bacillus sejam estudadas para peixes, as respostas obtidas para tambaqui com estas bactérias desenvolvidas sem associação natural ao hospedeiro não foram positivas para desempenho e resistência imunológica (Ferreira et al., 2014; Azevedo et al., 2016; Paixão et al., 2017). No entanto, Dias et al. (2018) utilizaram bactérias autóctones (*Bacillus cereus*) isoladas do intestino do tambaqui e observaram melhores respostas hematológicas, fisiológicas e produtivos.

Adicionalmente, o uso de enzimas exógenas é uma técnica biológica que pode favorecer os ganhos produtivos dos peixes através do aumento da digestibilidade de

ingredientes como o milho e a soja (Oliveira, 2007). De modo geral, enzimas são proteínas catalizadoras necessárias para processos metabólicos (Nelson e Cox, 2014). Elas podem ser adicionadas nas dietas para suplementar a ação de enzimas produzidas pelo peixe (como amilase e a protease) ou para suprir uma demanda enzimática não contemplada pelo organismo (como a β-glucanase, celulase e a fitase). Mendonça et al. (2012) avaliaram tambaquis (3,12 ± 0,05 g) alimentados com dietas contendo níveis de fitase (700, 1400, 2100 e 2800 UFA/kg de dieta, onde UFA = unidade de fitase ativa). Os autores registraram influência da fitase no desenvolvimento dos peixes a partir do nível estimado em 1540,62 UFA/kg de dieta. Porém, os autores recomendam estudos com níveis de fitase mais elevados do que os testados a fim de comparação com níveis encontrados na literatura. A suplementação dietética das enzimas protease, amilase e lipase foram tesadas por Nunes et al. (2006) que não identificaram influência no desempenho dos tambaquis sob dietas com protease. No entanto, 0,05% de amilase e 0,2% lipase incorporadas na dieta influenciaram o desempenho zootécnico em parâmetros como ganho de peso, conversão alimentar, taxa de crescimento específico e peso final (Tabela 5).

| | **Nutrientes da dieta** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Desempenho dos tambaquis** (PI: 0,34 ± 0,02g) | Aminoácido: Lisina (%) | | | | | |
| | **1,30** | **1,48** | **1,66** | **1,84** | **2,02** | **2,20** |
| Ganho de Peso (g) | 3,73 | 4,52 | 5,33 | 5,35 | 4,59 | 5,24 |
| CAA (g/g) | 1,39a | 1,38$^{a}$ | 1,14b | 1,21ab | 1,25ab | 1,21b |
| TEP (%) | 2,42b | 2,60ab | 3,34$^{a}$ | 2,99ab | 2,95ab | 2,91ab |
| Consumo da dieta (g) | 5,45 | 6,09 | 5,81 | 6,25 | 5,80 | 6,33 |
| | **Autores (ano):** Silva et al. (2018). | | | | | |
| | **Recomendação dos autores:** 1,78% de lisina digestível (2,00% de lisina total). | | | | | |
| **Desempenho dos tambaquis** (PI: 0,28 ± 0,08 g/L e 0,94 ± 0,33 g/L) | Aminoácido: Metionina+cistina para lisina (%) | | | | | |
| | **50,00** | **55,00** | **60,00** | **65,00** | **70,00** | **75,00** |
| Ganho de Peso (g) | 6,91 | 6,86 | 8,99 | 9,06 | 8,02 | 8,05 |
| CAA (g/g) | 3,59 | 2,59 | 1,97 | 1,30 | 2,70 | 2,35 |
| Eficiência da proteína (g/g) | 1,98 | 2,20 | 2,58 | 2,30 | 2,25 | 2,38 |
| Consumo da dieta (g) | 9,19 | 8,25 | 10,13 | 8,62 | 9,86 | 8,92 |
| | **Autores (ano):** Souza et al. (2019). | | | | | |
| | **Recomendação dos autores:** relação metionina + cistina com lisina digestível de 64,8%. | | | | | |
| | Probiótico: *Bacillus cereus* (%) | | | | | |
| **Desempenho dos tambaquis** (PI: 19,7 ± 0,6 g; 120 dias) | **Controle** | **$10^{4}$ (UFC/g)** | | **$10^{6}$ (UFC/g)** | | **$10^{8}$ (UFC/g)** |
| Ganho de Peso (g) | 32,4 ± 0,8b | 37,2 ± 0,7$^{a}$ | | 38,6 ± 0,6$^{a}$ | | 38,3 ± 0,8$^{a}$ |
| CAA (g/g) | 1,9 ± 1,1 | 1,9 ± 1,3 | | 1,9 ± 2,0 | | 1,9 ± 1,6 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| TCE (%/dia) | 2,0 ± 0,3 | 2,1 ± 0,8 | 2,1 ± 0,6 | 2,0 ± 0,9 |
| Ganho de comp. (mm) | 38,2 ± 1,9b | 44,5 ± 1,8$^{a}$ | 43,5 ± 1,0a | 44,2 ± 1,0a |
| | **Autores (ano):** Dias et al. (2018) | | | |
| | **Recomendação dos autores:** Probiótico *B. cereus* em $10^6$ UFC/g de dieta por no mínimo 60 dias. | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Probiótico: *Bacillus subtilis e Saccharomyces cerevisiae* (%) | | |
| **Desempenho dos tambaquis** (PI: 20,13 ± 0,75 g; 90 dias) | **Controle** | ***B. subtilis*** | ***S. cerevisiae*** |
| Ganho de Peso (g) | 67,1 ± 11,2 | 72,0 ± 9,1 | 77,7 ± 2,5 |
| CAA (g/g) | 2,63 ± 0,4 | 2,1 ± 0,3 | 2,3 ± 0,3 |
| Peso final (g) | 69,2 ± 12,0 | 74,1 ± 9,9 | 79,8 ± 3,2 |
| Comprimento total (mm) | 12,7 ± 3,2 | 13,1 ± 1,1 | 13,2 ± 1,1 |
| | **Autores (ano):** Paixão et al. (2017). | | |
| | **Recomendação dos autores:** Probióticos *B. subtilis e S. cerevisiae* não influenciaram no desempenho do crescimento dos tambaquis. | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Enzimas exógenas: Lipase (%) | | | |
| **Desempenho dos tambaquis** (PI: 18,57 a 20,89) | **0,00** | **0,05** | **0,10** | **0,20** |
| Ganho de Peso (g) | 9,1 ± 1,22c | 11,91± 2,23b | 10,58 ± 1,65bc | 15,28 ± 1,32a |
| CAA (g/g) | 2,53 ± 0,32c | 1,85 ± 0,32b | 1,86 ± 0,52bc | 1,51 ± 0,24a |
| TCE (%/dia) | 1,34 ± 0,34c | 1,60 ± 0,27b | 1,63 ± 0,29bc | 1,97 ± 0,08a |
| Peso final (g) | 30,10 ± 4,47b | 31,03 ± 2,80b | 29,15 ± 3,83b | 36,00 ± 3,44a |
| | **Autores (ano):** Nunes et al. (2006). | | | |
| | **Recomendação dos autores:** 0,05% da enzima exógena lipase para juvenis de tambaqui. | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Enzimas exógenas: Amilase (%) | | | |
| **Desempenho dos tambaquis** (PI: 18,57 a 20,89) | **0,00** | **0,05** | **0,10** | **0,20** |
| Ganho de Peso (g) | 6,04 ± 1,05b | 12,50 ± 3,41a | 5,98 ± 0,89b | 6,66 ± 1,00ba |
| CAA (g/g) | 1,79 ± 0,31b | 1,25 ± 0,56a | 1,72 ± 0,16b | 1,60 ± 0,20a |
| TCE (%/dia) | 1,45 ± 0,31b | 2,41 ± 1,09a | 1,37 ± 0,14b | 1,53 ± 0,10b |
| Peso final (g) | 18,28 ± 1,80b | 23,67 ± 2,89a | 18,83 ± 2,44b | 19,36 ± 2,50b |
| | **Autores (ano):** Nunes et al. (2006). | | | |
| | **Recomendação dos autores:** 0,2% da enzima exógena amilase para juvenis de tambaqui. | | | |

Tabela 5. Desempenho produtivo de tambaquis alimentados com dietas sob níveis de aminoácidos, enzimas e probióticos.

Legenda: PI: Peso inicial; CAA: Conversão alimentar aparente; TCE: Taxa de crescimento específico. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

## 4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam uma necessidade de investigações que avaliem ingredientes alternativos no sentido de viabilizar a utilização comercial e mostram que esforços devem se concentrar em melhorias no manejo alimentar das espécies nativas que potencializem a produtividade com o mínimo impacto ambiental e ecossistêmico dos alimentos. Embora existam publicações sobre exigência nutricionais para o tambaqui, matrinxã e pirarucu, para a maioria dos nutrientes as informações são escassas ou conflitantes, requerendo mais pesquisas e uso de metodologias comparáveis entre si.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.C.; AVILEZ, I.M.; HONORATO, C.A.; HORI, T.S.F.; MORAES, G. Growth and metabolic responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed different levels of protein and lipid. *Aquaculture Nutrition*, 17(2), e253-e262. 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00759.x.

ALMEIDA, L.C.; LUNDSTEDT, L.M.; MORAES, G. Digestive enzyme responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed on different levels of protein and lipid. *Aquaculture Nutrition*, 12(6), 443-450. 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2006.00446.x.

AMANCIO, A.L.L.; NETO, M.R.S.; FILHO, J.J.; FONSECA, S.B.; SILVA, H.V.S. Dietary protein requirements for tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) juvenile. *Revista Ciência Agronômica*, 50(2): 259-266. 2019. DOI: 10.5935/1806-6690.20190030.

ARAÚJO-LIMA, C.; GOMES, L. Tambaqui *Colossoma macropomum*. *In*: BALDISSETOTO, B.; GOMES, L. *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. Santa Maria: Editora UFSM, 1 ed., pp. 175-202. 2005.

ARIDE, P.H.R. *Vitamina E em dietas para tambaqui* (*Colossoma macropomum*): *determinação do nível médio, efeito sinérgico da vitamina C e interação com o ferro*. Tese de Doutorado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, 146 p. 2003.

ARIDE, P.H.R.; OLIVEIRA, A.M.; BAPTISTA, R.B.; FERREIRA, M.S.; PANTOJA-LIMA, J.; CASTRO, P.D.S.; OLIVEIRA, A.T. Changes on physiological parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed with diets supplemented with Amazonian fruit Camu camu (*Myrciaria dubia*). *Brazilian Journal of Biology*, 78: 360-367. 2018. DOI: 10.1590/1519-6984.169442.

ARIDE, P.H.R.; OLIVEIRA, A.M.; FERREIRA, M.S.; LIEBL, A.R.S.; COMASSETTO, L.E.; LADISLAU, D.S.; BASSUL, L.A.; SILVA, B.R.; MATTOS, D.C.; LAVANDER, H.D.; SOUZA, A.B.; POLESE, M.F.; RIBEIRO, M.W.S.; CASTRO, P.D.S.; OLIVEIRA, A.T. Growth and hematological responses of tambaqui, *Colossoma macropomum* fed different levels of rice, *Oryza spp. Brazilian Journal of Biology*, 81: 1-7. 2020. DOI: 10.1590/1519-6984.232560.

ARIDE, P.H.R.; OLIVEIRA, A.T.; OLIVEIRA, A.M.; FERREIRA, M.S.; BAPTISTA, R.B.; SANTOS, S.M.; PANTOJA-LIMA, J. Growth and hematological responses of tambaqui fed different amounts of cassava (*Manihot esculenta*). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68: 1697-1704. 2016. DOI: 10.1590/1678-4162-8704.

AZEVEDO, R.V.D.; FOSSE FILHO, J.C.; PEREIRA, S.L.; CARDOSO, L.D.; VIDAL JÚNIOR, M.V.; ANDRADE, D.R.D. Prebiotic, probiotic and synbiotic supplementation in diets for juvenile tambaquis at two stocking densities. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *51*(1), 9-16. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000100002.

BACKES, A.A.; RONER, M.N.B.; OLIVEIRA, V.D.; FERREIRA, A.C.D. Aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos na alimentação humana e animal. *Revista da Fapese*, 3(2), 17-24. 2007.

BEZERRA NETO, E.B.; PRADO, G.F.; PRADO, G.A.F.; SOUSA, R.G.C. Engorda de tambaquis (1 a 3 kg) arraçoados com dietas contendo 22 e 28% de proteína bruta. *Scientia Amazonia, 6*(1), 1-8. 2017.

BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A.; SIGNOR, A.A.; BOSCOLO, W.R.; LORENZ, E.K.; MALUF, M.L.F. Densidade de estocagem e parâmetros eritrocitários de pacus criados em tanques-rede. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 39(11), 2323-2329. 2010. DOI: 10.1590/S1516-35982010001100002.

BOSCOLO, W.R.; SIGNOR, A.; FREITAS, J.D.; BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A. Nutrição de peixes nativos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40: 145-154. 2011.

BUZOLLO, H.; NASCIMENTO, T.M.T.; SANDRE, L.C.G.; NEIRA, L.M.; JOMORI, R.K.; CARNEIRO, D.J. Apparent digestibility coefficients of feedstuff used in tambaqui diets. Boletim do Instituto de Pesca, 44(2): 547-555. 2018. DOI: 10.20950/1678-2305.2018.316.

CAMPECHE, D.F.B.; MELO, J.F.B.; BALZANA, L.; SOUZA, R.C.; FIGUEIREDO, R.A.C.R. Farelo de licuri em dietas para alevinos de tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818). *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec,* 66(2), 539-545. 2014. DOI: 10.1590/1678-41625920.

CHAGAS, E.C.; GOMES, L.C.; JUNIOR, H.E.; ROUBACH, R. Produtividade de tambaqui criado em tanque-rede com diferentes taxas de alimentação. *Ciência Rural*, Santa Maria, 37(4): 1109-1115. 2007. DOI: 10.1590/S0103-84782007000400031.

CHAGAS, E.C.; VAL, A.L. Efeito da vitamina C no ganho de peso e em parâmetros hematológicos de tambaqui. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(3): 397-402. 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000300009.

CHO, C.Y. 2003. Development of computer models for fish feeding standards and aquaculture waste estimations: A treatise. *In*: *Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*, Hermosillo, Sonora, México, 375-395. 2003.

CYRINO, J.E.P.; CASTAGNOLLI, N.; PEREIRA FILHO, M. Digestibilidade da proteína de origem animal e vegetal pelo matrinxã (*Brycon cephalus*). Cuiabá: ABRAq, 49-62.1986.

COSTA, J.I.; GOMES, A.L.S.; BERNARDINO, G.; SABBAG, O.J.; MARTINS, M.I.E.G. Productive performance and economic evaluation of tambaqui roelo in excavated fishponds, Manaus, Brazil. *Revista Agroambiente* On-line, 12(3), 234-244. 2018. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v12i3.4895.

CRESCÊNCIO, R.; ITUASSÚ, D.R.; ROUBACH, R.; FILHO, M.P.; CAVERO, B.A.S.; GANDRA, A.L. Influência do período de alimentação no consumo e ganho de peso do pirarucu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.1217-1222. 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005001200009.

DAIRIKI, J. K.; DA SILVA, T.B.A. Revisão de literatura: exigências nutricionais do tambaqui-compilação de trabalhos, formulação de ração adequada e desafios futuros. *Embrapa Amazônia Ocidental-Documentos (INFOTECA-E), 1*517-3135. 2011.

DAIRIKI, J.K.; CORREA, R.B.; INOUE, L.A.K.A.; MORAIS, I.D.S.D. Feijão-caupi autoclavado na nutrição de juvenis de tambaqui. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(4), 450-453. 2013.

DIAS, J.A.R.; ABE, H.A.; SOUZA, N.C.; COUTO, M.V.S.; CORDEIRO, C.A.M.; MENESES, J.O.; FERNANDA, C.; MOURIÑO, J.L.P.; MARTINS, M.L.; BARBAS, L.A.L.; CARNEIRO, P.C.F.; MARIA, A.N.; FUJIMOTO, R.Y. Dietary supplementation with autochthonous Bacillus cereus improves growth performance and survival in tambaqui *Colossoma macropomum*. *Aquaculture Research*, 49: 9: 3063-3070. 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/are.13767.

FALCON, D.R.; BARROS, M.M.; PEZZATO, L.E.; VALLE, J.D.B. Lipídeo e vitamina C em dietas preparatórias de inverno para tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *36*(5), 1462-1472. 2007. DOI: 10.1590/S1516-35982007000700002.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. Meeting the sustainable development goals. Rome. ISBN 978-92-5-130562-1. (2018).

FERREIRA, C.M.; ANTONIASSI, N.A.B.; SILVA, F.G.; POVH, J.A.; POTENÇA, A.; MORAES, T.C.H.; ABREU, J.S. Características histomorfométricas do intestino de juvenis de tambaqui após uso de probiótico na dieta e durante transporte. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, *34*, 1258–1264. 2014. DOI: 10.1590/S0100-736X2014001200020.

FRASCÁ-SCORVO, C.M.D.; CARNEIRO, D.J.; MALHEIROS, E.B. Comportamento alimentar do matrinxã *Brycon Cephalus* (Günter, 1869) no período de temperaturas mais baixas. *Bol. do Inst.de Pesca,* 27(1): 1-5. 2001.

FRASCA-SCORVO, C.M.D.; CARNEIRO, D.J.; MALHEIROS, E.B. Efeito do manejo alimentar no desempenho do matrinxã *Brycon amazonicus* em tanques de cultivo. *Acta Amazônica*, 37(4): 621-628. 2007. DOI: 10.1590/S0044-59672007000400018.

GUIMARÃES, S.F.; FILHO, A.S. Produtos agrícolas e florestais como alimento suplementar de tambaqui em policultivo com jaraqui. *Pesq. agropec. bras*. vol.39 no.3 Brasília Mar. 2004. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300014.

IMBIRIBA, E.P. Potencial de criação de pirarucu, *Arapaima gigas*, em cativeiro. *Acta Amazonica*. Manaus: INPA, 31(2): 299-316. 2001. DOI: 10.1590/1809-43922001312316.

JOBLING, M. Fish nutrition research: past, present and future. *Aquaculture international*, 24(3), 767-786. 2016. DOI: 10.1007/s10499-014-9875-2.

KUBITZA, F. Qualidade do alimento, qualidade da água e manejo alimentar na produção de peixes. *Anais do Simpósio sobre manejo e nutrição de peixes. CBNA***,** Piracicaba, SP, 63-101. 1997.

LEMOS, A.M.V.; GUIMARÃES, I.G.; MIRANDA, E.C.D. Farelo de coco em dietas para o tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 12(1). 2011.

LIMA, A.F.; RODRIGUES, A.P.O.; DE LIMA, L.K.F.; MACIEL, P.O.; REZENDE, F.P.; DE FREITAS, L.E.L.; TAVARES-DIAS, M.; BEZERRA, T.A. Alevinagem, recria e engorda de pirarucu. Embrapa Pesca e Aquicultura-Livro técnico (INFOTECA-E), 152p. 2017.

LIMA, C.A.S.; BUSSONS, M.R.F.M.; OLIVEIRA, A.T.; ARIDE, P.H.R.; O'SULLIVAN, F.L.A.; PANTOJA-LIMA, J. Socioeconomic and profitability analysis of tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the State of Amazonas, Brazil. *Aquaculture Economics & Management*, 1: 1-16. 2020. DOI: 10.1080/13657305.2020.1765895.

LIMA, C.S.; BOMFIM, M.A.D.; SIQUEIRA, J.C.; RIBEIRO, J.C.; LANNA, E.A.T. Crude protein levels in the diets of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), fingerlings. *Revista Caatinga*, v. 29, n. 1, p. 183-190, 2016. DOI: 10.1590/1983-21252016v29n121rc.

LOPES, J.M.; PASCOAL, L.A.F.; SILVA FILHO, F.P.D.; SANTOS, I.B.; WATANABE, P.H.; ARAUJO, D.D.M.; OLIVEIRA, P.D.S. Farelo de babaçu em dietas para tambaqui. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 11(2). 2010.

MAEDA, G.F.; AFFONSO E.G.; LIMA, M.A.C. Parâmetros fisiológicos de juvenis de matrinxã (*Brycon amazonicus*), alimentados com substituição parcial da farinha de peixe por farelo de castanha da

amazônia (*Bertholletia excelsa*) na ração. *XVIII Jornada de Iniciação Científica (PIBIC)* - CNPq/FAPEAM/INPA Manaus. 2009.

MELO, L.A.S.; IZEL, A.C.U.; RODRIGUES, F.M. Criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros de argila/barragens no Estado do Amazonas. *Embrapa Amazônia Ocidental-Documentos* (INFOTECA-E). 2001.

MENDONÇA, P.P.; VIDAL JUNIOR, M.V.; POLESE, M.F.; SANTOS, M.V.B.D.; REZENDE, F.P.; ANDRADE, D.R.D. Morphometrical development of tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) under different photoperiods. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(6), 1337-1341. 2012. DOI: 10.1590/S1516-35982012000600003.

NASCIMENTO, M.S.; MATTOS, B.O.; BUSSONS, M.R.F.M.; OLIVEIRA, A.T.; LIEBL, A.R.S.; CARVALHO, T.B. Supplementation of citric acid in plant protein-based diets for juvenile tambaqui. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1-13. 2020. DOI: 10.1111/jwas.12735.

NAWAZ, A.; JAVAID, A.B.; IRSHAD, S.; HOSEINIFAR, S. H.; XIONG, H. The functionality of prebiotics as immunostimulant: evidences from trials on terrestrial and aquatic animals. *Fish & Shellfish Immunology*, 76, 272–278. 2018. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.03.004.

NELSON, D.L., COX, M.M. *Princípios de bioquímica de Lehninger*. Porto Alegre: Artmed. 2014.

NRC. National Research Council. Nutrient requirement of fish and shrimp. Washington, D.C.: National Academy of Science. 2011. DOI: 10.17226/13039.

NUNES, E.S.S.; CAVERO, B.A.S.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R. Enzimas digestivas exógenas na alimentação de juvenis de tambaqui. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:1, 139-143. 2006.

OISHI, C.A.; NWANNA, L.C.; PEREIRA FILHO, M. Exigência protéica de juvenis de tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, alimentados com rações livres de farinha de peixe. *Acta Amazonica*, *40*(4), 757-762. 2010. DOI: 10.1590/S0044-59672010000400017.

OLIVEIRA, C.M.; SOUSA, R.G.C. Cultivo de tambaquis da pré-engorda ao abate com diferentes taxas de arraçoamento. *Biota Amazônia* (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota), v.7, n.4, p.20-25. 2017. DOI: 10.18561/2179-5746.

OLIVEIRA, G.R.; LOGATO, P.V.R.; FREITAS, R.T.F.; RODRIGUES, P.B.; FIALHO, R.F.; DIODATTI, F.C. Digestibilidade de nutrientes em ração com complexo enzimático para tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia,* 36: 6, 1945-1952. 2007. DOI: 10.1590/S1516-35982007000900001**.**

PAIXÃO, A.E.M.; SANTOS, J.C.; PINTO, M.S.; PEREIRA, D.S.P.; RAMOS, C.E.C.O.; CERQUEIRA, R.B.; SILVA, R.F. Effect of commercial probiotics (*Bacillus subtilis* and *Saccharomyces cerevisiae*) on growth performance, body composition, hematology parameters, and disease resistance against *Streptococcus agalactiae* in tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Aquaculture International*, 1–11. 2017. DOI:10.1007/s10499-017-0173-7.

PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S.M.; OLIVEIRA, A.T.; ARAUJO, R.L.; SILVA JUNIOR, J.A.L.; ROCHA, P.H.A. Pró-rural aquicultura: relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do Estado do Amazonas, Brasil. *Nexus*, vol. 1, pp. 35-45. 2015.

PEREIRA-JUNIOR, G.P.; PEREIRA, E.M.D.O.; PEREIRA FILHO, M.; BARBOSA, P.D.S.; SHIMODA, E.; BRANDÃO, L.V. Desempenho produtivo de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818) alimentados com rações contendo farinha de crueira de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) em substituição ao milho (*Zea mays*). *Acta amazonia.*, 217-226. 2013. DOI: 10.1590/S0044-59672013000200013.

PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; FRACALOSSI, D.M.; CYRINO, J.E.P. *Nutrição de Peixes. In*: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSI, D.M., CASTAGNOLLI, N. *Tópicos Especiais em Piscicultura de água Doce Tropical Intensiva*. São Paulo: Aquabio, v.1, 75-170. 2004.

PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; FURUYA, W.M. Valor nutritivo dos alimentos utilizados na formulação de rações para peixes tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(SPE): 43-51. 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009001300005.

PUPPO, D.D.; HAESE, D.; GOMES, L.D.C.; KILL, J.L.; BRUGNARA, E.C.; BARCELLOS, J.; TON, N.C. Optimization of crude protein in diets for Nile tilapia reared in net pens: performance, hematology, and water quality. *Ciência Rural*, 47(3): 1-7. 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20160502.

RODRIGUES, A.P.O. Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). Boletim do Instituto de Pesca, 40, 135-145. 2014.

RODRIGUES, A.P.O.; LIMA, A.F.; ANDRADE, C.L.; MEDEIROS, R.M.D.S.D. Frequência alimentar afeta a ingestão alimentar e o crescimento de juvenis de pirarucu (*Arapaima gigas*). *Acta Amazonica*, 49(1): 11-16. 2019. DOI: 10.1590/1809-4392201802442.

SANDRE, L.C.G.; BUZOLLO, H.; NEIRA, L.M.; NASCIMENTO, T.M.T.; JOMORI, R.K.; CARNEIRO, D.J. Growth and energy metabolism of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed diets with different levels of carbohydrates and lipids. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 8(3), 1-8. 2017. DOI: 10.4172/2150-3508.1000225.

SANTOS, M.Q.D.C.; OISHI, C.A.; PEREIRA FILHO, M.; LIMA, M.D.A.C.; ONO, E.A.; AFFONSO, E.G. Physiological response and performance of tambaqui fed with diets supplemented with Amazonian nut. *Ciência Rural*, 40(10), 2181-2185. 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010001000021.

SCORVO FILHO, J.D.; ROJAS, N.E.; SILVA, C.M.; KONOIKE, T. Criação de *Arapaima gigas* (Teleostei osteoglossidae) em estufa e sistema fechado de circulação de água, no Estado De São Paulo. *Boletim do Instituto da Pesca*, 161 - 170. 2004.

SILVA CAMARGO, A.C.; JÚNIOR, M.V.V.; DONZELE, J.L.; ANDRADE, D.R.; SANTOS, L.C. Níveis de energia metabolizável para tambaqui (*Colossoma macropomum*) dos 30 aos 180 gramas de peso vivo. *R. Bras. Zootec*, *27*(3), 409-415. 1998.

SILVA, J.C.; BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; RIBEIRO, F.B.; SIQUEIRA, J.C.; SOUSA, T.J.R.; NASCIMENTO, D.C.N. Lysine requirement for tambaqui juveniles. *Semina: Ciências Agrárias*, 39(5), 2157-2168. 2018. DOI: 10.5433/1679-0359.2018v39n5p2157.

SOUSA, R.G.C.; PRADO, G.F.; PYÑEIRO, J.I.G.; NETO, E.B.B. Avaliação do ganho do peso de tambaqui cultivado com diferentes taxas de proteínas na alimentação. *Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)*, 6(1), 40-45. 2015. DOI: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n1p40-45.

SOUSA, T.J.R.; BOMFIM, M.A.D.; RIBEIRO, F.B.; TAKISHITA, S.S.; COSTA, D.D.C.D. Phosphorus requirement of tambaqui fingerlings. *Revista Caatinga*, 32(3), 795-804. 2019. DOI: 10.1590/1983-21252019v32n324rc.

SOUZA, F.O.; BOMFIM, M.A.D.; RIBEIRO, F.B.; LANNA, E.A.T.; SOUSA, T.J.R.D.; COSTA, D.D.C.D. 2019. Methionine plus cystine to lysine ratio in diets for tambaqui juveniles. *Revista Caatinga*, 32(1), 243-250. DOI: 10.1590/1983-21252019v32n124rc.

SOUZA, R.C.; CAMPECHE, D.F.; CAMPOS, R.M.; FIGUEIREDO, R.A.C.; Melo, J.F. Frequência de alimentação para juvenis de tambaqui. *Arq. bras. med. vet. zootec*, 927-932. 2014. DOI: 10.1590/1678-41625557.

VAN DER MEER, M.B.; ZAMORA, J.E.; VERDEGEM, M.C.J. Effect of dietary lipid level on protein utilization and the size and proximate composition of body compartments of *Colossoma macropomum* (Cuvier). *Aquaculture Research*, 28: 6, 405-417. 1997. DOI: 10.1046/j.1365-2109.1997.00873.x

VIDAL JR. M.V.; DONZELE, J.L.; CAMARGO, A.C.S.; ANDRADE, D.R.; SANTOS, L.C. Níveis de proteína bruta para tambaqui (*Colossoma macropomun*), na fase de 30 a 250 gramas. Desempenho dos tambaquis. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 27(3): 421-426. 1998.

XAVIER, D.T.O.; BRANDÃO, V.M.D.; DA SILVA, F.N.; BRANDÃO, L.V.; DE SOUZA, R.A.L. Torta de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em dietas para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* cuvier, 1818). *PUBVET*, 10, 795-872. 2016. DOI: https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n11.795-803.

XAVIER, D.T.O.; SOARES, P.P.; ROSSETTO, J.F.; DE SOUZA, H.B.; BRISQUELEAL, J.C.P.; DA SILVA, F.N.L.; DE SOUZA, R.A.L. Substituição do farelo de milho por farinha de torta de tucumã em dietas para tambaqui. *PUBVET*, 13(130). 2019. DOI: 10.31533/pubvet.v13n9a4071.1-8.

# CAPÍTULO 14

# TECNOLOGIAS NUTRICIONAIS NA FASE INICIAL DE CRIAÇÃO DO PIRARUCU, *Arapaima gigas*.

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Flávio Augusto Leão da Fonseca**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/3578903186402293

**Jeffson Nobre Pereira**
Peixe Nobre Consultoria
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/6379664685096070

**RESUMO:** O desenvolvimento de tecnologias nutricionais tem permitido um aumento na produção de juvenis de pirarucu. A nutrição dos reprodutores e seu histórico de enfermidades afetam diretamente o desempenho das suas proles, ao mesmo tempo que os resultados eficientes têm sido obtidos com diversas combinações tecnológicas, como por exemplo, transferência das larvas logo após o enchimento da vesícula gasosa, larvicultura em sistemas aberto ou fechado, a idade e duração do treinamento alimentar e seleção do alimento vivo e de microdietas. De certo, dietas de má qualidade ou com tamanho incompatível contribuem diretamente para a baixa sobrevivência dos peixes durante o condicionamento alimentar e a recria. E a classificação periódica por tamanho e a adoção de tratamentos profiláticos e terapêuticos em tanques de enfermaria também melhoram a qualidade dos juvenis. Entretanto, a seleção de tecnologias depende do perfil do piscicultor, o que vai de acordo com a infraestrutura e os recursos financeiros disponíveis.

**PALAVRAS-CHAVE**: piscicultura, larvicultura, paiche, Amazônia.

## NUTRITIONAL TECHNOLOGIES IN THE INITIAL PHASE OF PIRARUCU, *Arapaima gigas*, FARMING.

**ABSTRACT:** The development of nutritional technologies has allowed an increase in juvenile pirarucu production. Breeding nutrition and health record directly affect the offspring performance as efficient results have been obtained with diverse technological combinations: offspring transfer as soon fill their gas vesicles, larviculture in open or closed systems, larval age and weaning duration, selection of live feed and microdiet. Poor quality diets or incompatible sizes directly contribute to the low survival of fish during weaning and rearing. The periodic classification by size and the adoption of prophylactic and therapeutic treatments in infirmary tanks also improve the quality of juveniles. However, the selection of technologies depends on the fish farmer profile according to the infrastructure and financial resources available.

**KEYWORDS:** fish farming, larviculture, paiche, Amazônia.

## 1 | INTRODUÇÃO

Podemos definir a tecnologia como conjunto de técnicas, métodos e processos usados na produção ou na realização de uma atividade. Neste capítulo, usaremos esse conceito ao abordar os mais recentes avanços quanto aos aspectos nutricionais relacionados à produção de formas jovens de pirarucu.

O *Arapaima gigas* (Schinz 1822)

(Osteoglossiformes: Arapaimidae) é o maior peixe de escamas sul-americano, com respiração aérea obrigatória, podendo medir 3 m e pesar 200 kg (FERRARIS, 2003), (Figura 1). É uma espécie de hábito alimentar carnívoro alimentando-se inicialmente de zooplâncton e posteriormente, a medida que se desenvolve, de outras fontes alimentares como crustáceos, moluscos e peixes. A espécie é denominada de pirarucu no Brasil, paiche nos países de língua espanhola ou simplesmente arapaima nos demais países onde foi introduzida.

Figura 1. Adulto macho de pirarucu, *Arapaima* gigas, em período reprodutivo.

O pirarucu é um peixe nativo da Bacia Amazônica ocorrendo naturalmente no Brasil, Colômbia, Equador e Peru, sendo sua introdução reportada em outros países americanos como Estados Unidos (HILL; LAWSON, 2015), Bolívia e possivelmente Guiana, e asiáticos como Filipinas, Tailândia e China (FAO, 2020) (Figura 2).

Em uma lista elaborada com as dez espécies de peixes como candidatas para maior uso na aquicultura, o pirarucu se apresenta como única espécie sul-americana (HARVEY et al., 2017). Entre as características que o levaram a esta posição encontra-se o seu rápido crescimento de aproximadamente 10kg ao ano (IMBIRIBA, 2001), um alto rendimento de filé (50%) (FOGAÇA et al., 2011) e a ausência de espinhas intramusculares e o alto valor nutricional da carne (CORTEGANO et al., 2017). Logo, essas características despertaram o interesse comercial no pirarucu no Brasil e no mundo.

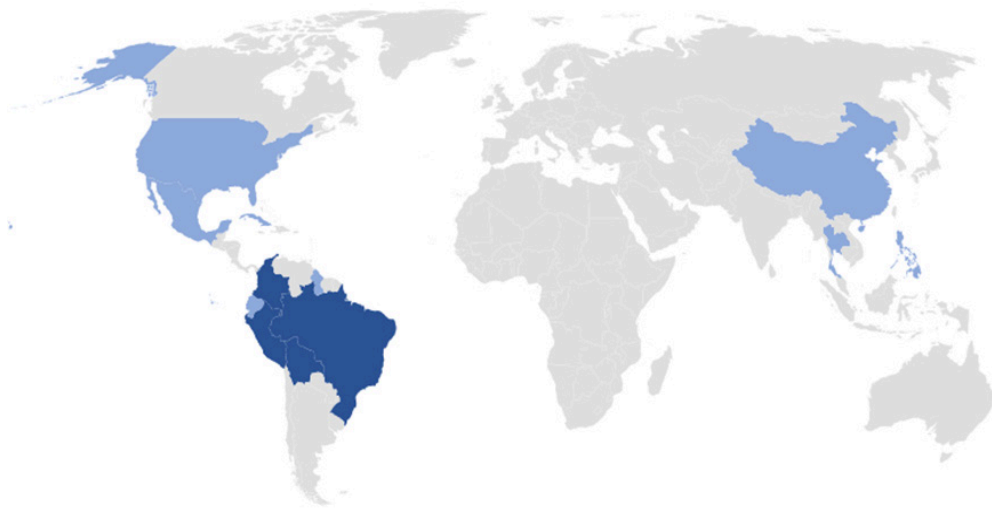



Figura 2. Distribuição de *Arapaima gigas* no mundo. Países nativos em azul escuro e introduzidos em azul claro.

Apesar deste interese há no mercado uma oferta insuficiente de juvenis de pirarucu. Essa oferta insuficiente é causada pelas baixas taxas de produção e sobrevivência das larvas e juvenis alcançadas pelas pisciculturas de produção de juvenis de pirarucu. Entre as causas desta baixa produtividade estão características reprodutivas da espécie, assim como a ausência de protocolos de manejo e criação das larvas e juvenis pré recria. Consequentemente essas formas jovens alcançam um alto valor de mercado e que está relacionado ao comprimento desso peixe em centímetros e não por unidade como ocorre nas demais espécies.

## 2 | REPRODUTORES

As característivas reprodutivas da espécie explicam a baixa disponibilidade de formas jovens no mercado. O pirarucu atinge a idade reprodutiva aos 5 anos na natureza e aos 3 anos em cativeiro, aproximadamente. Apresenta apenas uma gônada ativa, desova parcelada - o que gera uma baixa fecundidade, quando comparada a outros peixes de desova total como o tambaqui, cuidado parental - que diminui a frequência das desovas e ausência de resposta à protocolos de indução hormonal.

Cada ano que passa fica mais evidente a necessidade de ter matrizes e reprodutores de pirarucu sempre bem nutridos, principalmente nos meses que antecedem o período reprodutivo. O alimento natural composto por peixes forrageiros nativos ou introduzidos, sejam eles vivos ou congelados, tem sido frequentemente ofertado. Esta prática é justificada por vários fatores, tais como: ausência de uma ração comercial que atenda as necessidades nutricionais da espécie, o alto custo das rações de carnívoros disponíveis no mercado, a disponibilidade de peixes de baixo valor comercial ou a praticidade de manter

peixes vivos dentro ou próximos aos tanques dos reprodutores para oferta frequente. Todavia, observam-se vários problemas consequentes dessa prática, tanto de origem sanitária quanto de acidentes de engasgo, com matrizes que tentaram engolir peixes com tamanho inadequado ou com espinhos nas nadadeiras (Figura 3).

Figura 3. Exemplar de pirarucu, *Arapaima gigas*, engasgado com peixe forrageiro.

Atualmente, o alimento mais recomendado para nutrição de reprodutores de pirarucu é uma dieta mista a base de ração comercial com 40% de proteína bruta com adição de peixes devidamente eviscerados e com suplemento vitamínico e mineral. Essa dieta úmida é moldada em formato de pequenas bolas, entre 80 a 100g, sendo assim conhecida como bolota (Figura 4).

O nível de 40% de proteína da ração é suplementado pelo nível elevado de proteína de alto valor biológico do peixe eviscerado. A retirada das vísceras consiste numa forma de minimizar os riscos de transmissão de parasitas que habitam as brânquias e o trato intestinal, tão comum na alimentação com peixes forrageiros inteiros, sejam eles vivos ou congelados. Dessa forma, o uso de suplementos vitamínicos minerais aumenta a qualidade da dieta, complementando a variação nutricional ao se utilizar diferentes espécies de peixes forrageiros.

Figura 4. Preparação das bolotas, dieta mista entre ração comercial e peixe moído utilizada na alimentação dos reprodutores de pirarucu.

Ainda, os alimentos devem ser produzidos para uso semanal, utilizando-se uma máquina de moer carne e sendo armazenados em freezer, onde são retirados com 40 minutos de antecedência antes de serem ofertados para as matrizes. A moagem também aumenta a exposição do músculo dos peixes com o ar, aumentando o risco de contaminação e diminuindo a viabilidade. Por isso, o tempo de retirada de 40 minutos permite o descongelamento, facilitando a ingestão pelo peixe ao mesmo tempo que um período maior aumenta as chances de deterioração. Em vista disso, uma vez que a dieta é manufaturada torna-se difícil assegurar condições higiênicas de nível elevado, o que afeta diretamente a viabilidade ou tempo de prateleira dessa dieta.

A frequência alimentar recomentada é de no máximo 3 vezes por semana fazendo uso de apenas 1% do peso vivo dos animais. Os reprodutores pela sua idade apresentam taxa de crescimento lenta, e assim, o alimento fornecido será direcionado para acúmulo de energia na forma de gordura e no desenvolvimento das gônadas, principalmente no caso da fêmea. Em geral, o tamanho do ovário é limitado pelo espaço disponível na cavidade abdominal dos peixes. Fêmeas alimentadas excessivamente acumulam muita gordura cavitária e, com isso, inibem o crescimento do ovário (Figura 5). A baixa frequência alimentar aliada o nível de percentual de biomassa de 1% permite o fornecimento adequado de nutrientes para a produção de gametas (espermatozoides e óvulos) evitando esse excesso de gordura.

Figura 5. Acúmulo de gordura ao redor do ovário de pirarucu, *Arapaima gigas*.

## 3 I LARVAS E JUVENIS

Uma das etapas mais importantes para o sucesso da produção de juvenis de pirarucu é a decisão do momento mais adequado para a coleta dos filhotes no tanque de reprodução. A retirada precoce das larvas, sem o conhecimento necessário ou estrutura adequada fatalmente, poderá levar a uma alta mortalidade. Entretanto, a retirada tardia das larvas também acarreta riscos associados à desnutrição, predação e parasitoses.

As informações disponíveis sobre os primeiros dias de vida do pirarucu após a fecundação do óvulo ainda são escassas. Os relatos disponíveis até o momento foram sempre obtidos por capturas acidentais, sem um suporte adequado para manutenção de vida das larvas pós eclosão. Recentemente, Ruiz-Tafur et al. (2017) descreveram os primeiros desenvolvimentos larvais a partir do ovo pré-eclosão (Figura 6): o tamanho dos ovos são de aproximadamente 4 mm e 11 mg; as larvas recém eclodidas medem 1 cm e 1,5 g, sobem à superfície em aproximadamente 4 dias com 1,7 cm em média; iniciam a alimentação exógena no 6° dia após eclosão medindo 1,8 cm.

Apesar de alevino ser um termo biologicamente inadequado para os peixes tropicais, como explicado por Gomes et al. (2003), peixes jovens, recém-saídos da fase larval, os juvenis, são frequentemente chamados de alevinos na piscicultura brasileira. O momento exato em que um peixe passa de larva para juvenil é difícil de se determinar, variando de espécie para espécie e sendo fortemente influenciado por fatores como a qualidade da água e a nutrição. Em tese, os peixes tornam-se juvenis quando iniciam a alimentação exógena, isto é, estão aptos a capturar o alimento e apresentam a maioria das suas características corporais definitivas (KOVÁC et al., 1999). Assim sendo, a denominação juvenil/alevino, nos indicaria então um indivíduo completamente desenvolvido e capaz de iniciar a fase de recria.

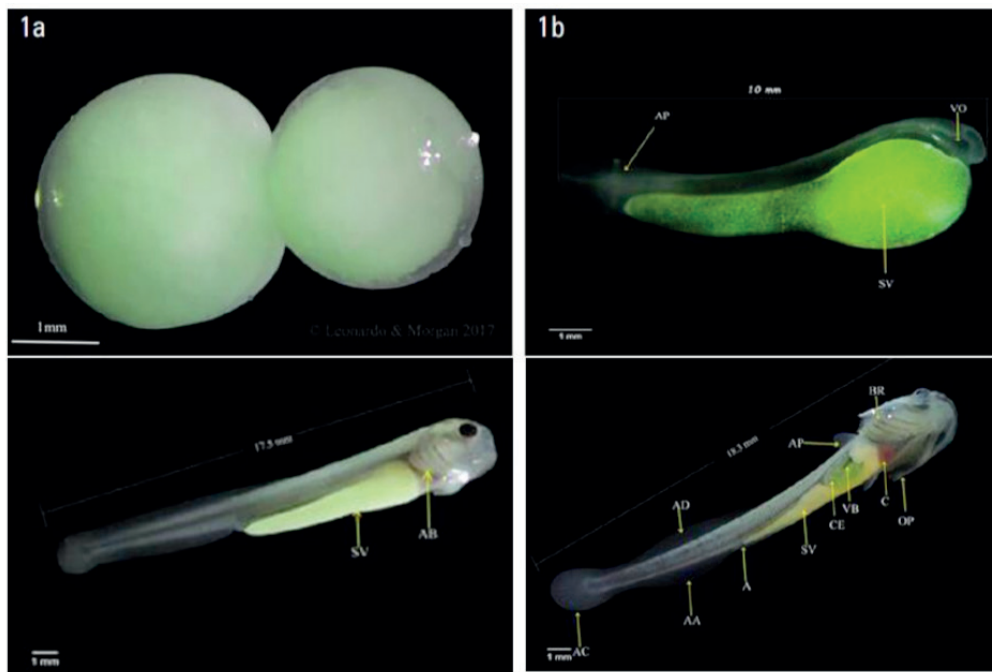



Figura 6. Desenvolvimento inicial de pirarucu (RUIZ-TAFUR et al., 2017): 1a: ovos pré-eclosão; 1b: larva recém eclodida – 0 hora; 1c: sobem à superfície – 4 dias; 1d: iniciam alimentação exógena 6 dias.

Com base nos aspectos morfológicos da pós-flexão da cauda e a formação dos raios nas nadadeiras, Ruiz-Tafur et al. (2017) consideram as larvas de pirarucu ao oitavo dia após a eclosão com 1,9 cm, como alevinos. Alcântara et al. (2019) utilizando como referência o desenvolvimento do trato gastrointestinal de formas jovens de pirarucu, sugere que o pirarucu com aproximadamente 2 cm de comprimento estaria apto para consumir ração. Formas jovens de pirarucu criadas em diferentes temperaturas e com manejos alimentares diferentes atingem esse estágio juvenil em idades diferentes. Consequentemente, o tamanho torna-se mais relevante que a idade para a escolha das formas jovens em relação ao momento de iniciar a recria.

## 4 I TREINAMENTO ALIMENTAR

Em peixes carnívoros a fase de recria é antecedida pelo treinamento alimentar. O treinamento alimentar condiz a um processo de adaptação dos peixes à transição do consumo de alimento vivo, o zooplâncton, para a dieta seca, a ração. Esse processo é fundamental para o sucesso da produção de juvenis de pirarucu. Inclusive, estratégias diferentes já foram utilizadas com sucesso para o treinamento alimentar dos juvenis de pirarucu. E entre os fatores que caracterizam essas estratégias de treinamento para a transição alimentar constam: o ambiente onde é realizado (aberto, ao ar livre ou fechado, em galpão); o tamanho do peixe (comprimento total); tática de substituição (percentual entre alimento vivo e ração, número de dias em cada percentual) e a seleção do alimento

vivo (tipo e tamanho do zooplâncton).

## 4.1 Escolha do Alimento

### *4.1.1 Peixe moído*

Alguns criadores costumam fazer a utilização de peixe moído (Figura 7). Porém, é desaconselhado o uso de peixe moído por motivo de ocasionar má qualidade de água, possibilidade de problemas parasitários e ineficiência durante o treinamento. O peixe não consumido se mistura rapidamente com a água, sendo impraticável sua retirada se não consumido pelos peixes e, consequentemente, esse material apodrece, ocasionando a contaminação da água dos pirarucus. De fato, os peixes moídos são uma fonte potencial de transmissão de parasitos, e também por isso, devem ser evitados. A propósito, o peixe moído é inerte e os juvenis de pirarucu são atraídos pelo movimento da presa, sem o movimento, essa opção de alimento se torna pouco atrativa e, portanto, ineficiente. Acrescente-se que um dos objetivos é treinar os juvenis a se alimentarem da ração que também é inerte, não se movimenta.

Figura 7. Peixe moído utilizado na alimentação de formas jovens de pirarucu.

### *4.1.2 Zooplâncton*

O zooplâncton é o nome dado a um conjunto de animais microscópicos que ocorrem no ambiente aquático, sendo a fonte natural de alimento das formas jovem de peixes. Para o pirarucu, os mais importantes são os microcrustáceos, estes são parentes biologicamente próximos dos camarões (Figura 8). E entre os grupos mais significativos, destacamos os cladóceros e os copépodos que habitam frequentemente os viveiros de piscicultura, e as artêmias que são de ambiente marinho, mas podem ser encontradas comercialmente para uso como alimento na larvicultura de peixes.

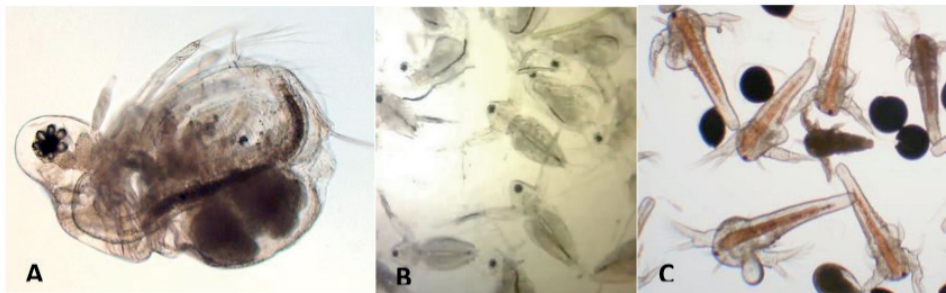



Figura 8. Zooplâncton utilizados em treinamento alimentar do pirarucu: A – cladocero, B – copepodo (naturais de viveiro) e C – náuplio (larva) de artêmia (comercializada).

Entre o zooplâncton, tanto o obtido em viveiros quanto as artêmias, apresenta vantagens e desvantagens. A artêmia pode ser obtida de comerciantes na forma de cistos, como são chamados seus ovos, com fornecedores nacionais e estrangeiros com diferentes graus de qualidade. Existe uma variação de qualidade de artêmia, onde há influência desde o tamanho de suas larvas, os náuplios, passando pela sua qualidade nutricional e características do processo de eclosão. Os cistos devem ser mantidos sob refrigeração e protegidos da luz até a eclosão. As larvas nascem sem boca e esse período é o mais adequado pra fornecer para os juvenis de pirarucu por apresentarem melhor perfil nutricional. Nesse sentido, cada fabricante apresenta um protocolo de eclosão das artêmias, que é uma fonte muito comum de alimento entre os criadores de peixes ornamentais, assim, facilitando encontrar esses protocolos na internet. A estrutura utilizada para a eclosão é tradicionalmente feita com materiais reaproveitados como as garrafas pet ou galões de água, lâmpadas incandescentes, canos hidráulicos de diâmetro pequeno e aeradores de aquários (http://www.ciclideos.com/um-metodo-simples-de-eclosao-de-artemia-a95.html). Entre as vantagens encontra-se o uso de uma fonte de alimento limpa, livre de parasitos, com perfil nutricional conhecido e que pode ser facilmente adquirida, quantificada, armazenada e utilizada. E nas desvantagens está o valor de aquisição direta (entre R$300 a 500/kg), a necessidade de uma boa prática na obtenção dos náuplios para aumentar as taxas de eclosão, diminuindo a quantidade de ciscos não ecodidos e consequentemente de rentabilidade, o fato de sobreviverem no máximo duas horas a água doce e o risco que os cistos não eclodidos causam às formas mais jovens de pirarucu. A propósito, o pirarucu não possui a capacidade de digestão destes cistos e por isso acabam morrendo, com relatos de inúmeras ninhadas de pirarucu tendo sido perdidas por conta da ingestão destes. Essas desvantagens, entretanto, podem ser contornadas com a aquisição de experiência no manejo da artêmia. Por essas características elas são o alimento para formas jovens de peixe mais utilizado em centros de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

Para o produtor iniciante ou de pequeno porte, provavelmente, o uso mais adequado seja o zooplâncton dos viveiros de piscicultura. Ele apresenta como vantagens o uso de instalações já existente na propriedade, é uma fonte disponível e acessível à maioria dos piscicultores, apresenta-se como um tipo de alimento natural para a espécie podendo atender suas necessidades nutricionais. Em contrapartida, podem ser fontes de parasitos e predadores nos berçários, apresentam variação na sua composição entre viveiros e

ao longo do tempo. Assim sua qualidade nutricional é variável sendo influenciada pelas condições climáticas como tempo nublado, chuvas ou sol excessivo. Sua produção está relacionada à fertilização de viveiros de terra, essa fertilização pode seguir os protocolos utilizados na preparação de viveiros de larvicultura de outras espécies como os peixes redondos como tambaqui e pacu (SENAR, 2017). Essa fertilização pode ser feita tanto com fertilizantes orgânicos, esterco animal e farelos vegetais, quanto com fertilizantes químicos, como a ureia. O uso de farelos costuma ser recomendado pelas suas vantagens quanto ao tempo de decomposição e impacto na qualidade da água do viveiro. Um protocolo simples é a fertilização inicial 10 g/m$^2$ de farelo de trigo ou arroz combinado com 5 g/m$^2$ de ureia.

O zooplâncton pode ser coletado utilizando uma rede de arrasto cônica (Figura 9) composta de uma tela de nylon (poliamida) com aproximadamente 70 micra de abertura de malha. Além disso, deverá ser acondicionado e concentrado em baldes e mantidos em aeração constante. Durante esse processo, deverão ser usadas peneiras de plástico, utilizadas em cozinha, para retirada de quaisquer sujeiras ou organismos macroscópicos. Vale ressaltar que em alta concentração e sem alimento, o zooplâncton tende a morrer num período inferior à 24h. Assim as coletas deverão ser realizadas uma a duas vezes ao dia.

Figura 9. Coleta de zooplâncton para alimentação de juvenis de pirarucu.

Além da retirada de matéria macroscópica do concentrado de zooplâncton, deve-se observar a presença de um grupo de organismos microscópicos muito peculiar, as ostracodas. A ostracoda é um grupo de zooplâncton muito comum em pisciculturas, visto que sua alimentação decorre de detritos e nutrientes orgânicos em decomposição que abundam o fundo de viveiros onde as boas práticas de manejo não são aplicadas. As ostracodas são chamadas de bolinhas por alguns produtores, distinguindo-se dos outros grupos no plâncton. Na verdade, elas se parecem com bivalves, aqueles que produzem as conchas da praia (Figura 10). Essas conchas são duras e resistentes à digestão dos pirarucus o que se pode explicar os eventos associados às ostracodas.

Figura 10. Exemplar de ostracoda visto em microscópio ocular.

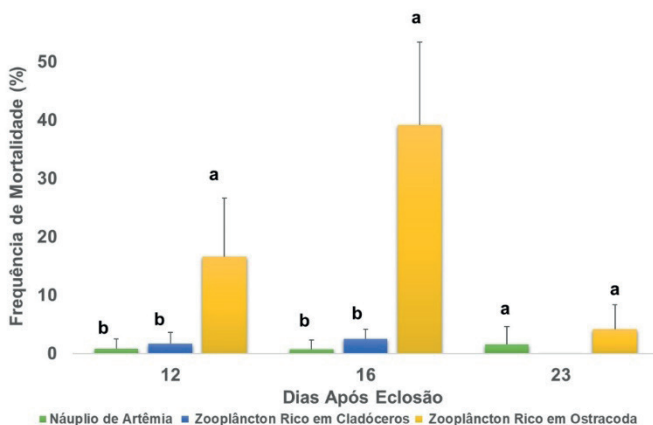
Foi observado que sua presença em grande quantidade no alimento vivo fornecido causa diminuição na produção de juvenis. Um estudo realizado por Gonçalves et al., (2019) comparou o desempenho e sobrevivência de juvenis de pirarucu alimentados com diferentes tipos de zooplâncton durante seus primeiros dias como juvenis. Nesse estudo, os juvenis foram separados em três grupos e alimentados com 100% de náuplios de artêmia ou 79% de cladocera + 11% copepoda + 10% ostracoda ou 74% ostracoda + 23% cladocera + 3 % copépoda (Figura 11).



Figura 11. Mortalidade de juvenis de pirarucu alimentados com diferentes tipos de zooplâncton (Adaptado de Gonçalves et al., 2019).

Os resultados mostram que ao serem alimentados com zooplâncton rico em ostracoda, os juvenis com tamanho de até 4 cm apresentaram uma alta taxa de mortalidade na primeira quinzena de vida. Os demais lotes apresentaram baixa ou nenhuma mortalidade ao serem alimentados com dietas de náuplios de artêmia ou rica em cladóceros. Dessa forma, os autores sugerem que apesar de morfologicamente formados os juvenis com tamanho inferior a 4 cm não teriam sua capacidade digestiva totalmente desenvolvida. Como consequência, o consumo de grandes quantidades de ostracoda causaria a formação de lesões como abcessos e prolapsos do intestino e finalmente levaria à morte (Figura 12).

Figura 12. Lesão de evisceração intestinal em larvas de pirarucu alimentadas durante 4 dias com zooplâncton rico (74%) em ostracoda (Adaptado de Gonçalves et al., 2019).

Esse mesmo estudo mostrou que dietas tanto de náuplios de artêmia como de zooplâncton rico em cladóceros proporcionam um desempenho semelhante aos juvenis, dobrando de tamanho ao crescer 2 cm ao final de 15 dias desse manejo alimentar. Entre o zooplâncton presente nas pisciculturas, juvenis de pirarucu demonstram preferência alimentar por cladóceros, apesar da maior abundância de rotíferos e copépodos nos viveiros (LIMA et al., 2018). Desta maneira, apesar de poucas informações sobre o hábito alimentar  das formas jovens de pirarucu na natureza, pode-se inferir que os cladóceros sejam seu alimento preferencial. Assim, a preferência da espécie por cladóceros e o ótimo desempenho apresentado pelos pirarucus que os consumiram em criação intensiva demonstra que uma dieta abundante neste tipo de zooplâncton é uma fonte alimentar adequada para criação de suas formas jovens.

Como demonstrado neste tópico é fundamental conhecer e ser capaz de quantificar o tipo de alimento vivo fornecido aos juvenis de pirarucu. E diferente do que se pode imaginar, alguns equipamentos e técnicas simples podem ser usados nesta tarefa. Uma pipeta volumétrica transparente (facilmente encontrada em lojas de material de laboratório entre R$ 2 a R$ 10), placas de petri de plástico (R$ 1), um contador manual (R$ 20), um bloco de anotações e lápis e se possível, uma lupa digital usb (R$ 60). Após a concentração dos náuplos de artêmia ou do zooplâncton, separamos uma amostra de volume definido (5 ou 10 ml, por exemplo) misturamos para evitar que o plâncton se acumule no fundo e retiramos com a pipeta uma parte dessa amostra. Em seguida, colocamos contra a luz e contamos o número de indivíduos presentes no interior da pipeta. Depois repetimos mais duas ou quatro vezes o processo, anotando a quantidade de indivíduos e o volume do concentrado de plâncton amostrado em cada vez. Depois tiramos uma média para estimar a densidade de zooplâncton/ml e multiplicamos pelo volume do concentrado existente no balde. Desse modo saberemos a quantidade de zooplâncton oferecida para as os peixes em função do volume do concentrado fornecido. Quanto à lupa, é usada para analisarmos a qualidade do zooplâncton: se está vivo (agitado) ou morto (parado), se apresenta muita ou pouca variedade de formas ou se há ostracodas, por exemplo.

Essas informações devem ser armazenadas em planilhas e depois podem ser associadas a tipo de fertilização, época do ano, condições do viveiro, do tempo. Se a eclosão das artêmias teve êxito ou se há muito cistos. Assim conhecendo melhor o alimento oferecido aos seus peixes, o produtor pode aperfeiçoar seu manejo produzindo um alimento vivo de melhor qualidade.

O zooplâncton também pode ser concentrado e armazenado congelado para uso posterior, mas morto perde a atratibilidade do movimento que apresenta quando vivo.

### *4.1.3 Microdietas*

As dietas fabricadas para alimentação das larvas com diâmetros inferior a 1 mm são denominadas de microdietas (Figura 13) e melhores resultados têm sido obtidos com seu uso. O seu processo de fabricação é mais oneroso que das rações convencionais e, além da extrusão a quente, elas costumam ser produzidas por peletizadoras especiais num processo denominado de extrusão a frio. Ainda, essas rações costumam ter custo elevado e nem sempre estão disponíveis no mercado local. Mas, devido o alto valor do pirarucu e o desempenho atingido pelos juvenis alimentados com algumas microdietas, o investimento se justifica.

Figura 13. Exemplo de microdieta comercial.

O uso de microdietas balanceadas nutricionalmente oferece a possibilidade de um controle maior da qualidade e quantidade de alimento ofertado. O manejo alimentar torna-se menos laborioso sem a necessidade de mão de obra e equipamentos para coleta, seleção, manutenção e fornecimento do zooplâncton às larvas. Acresce que por serem inertes, por apresentarem baixa umidade e tamanho limitado, diferente do alimento vivo, a atratividade dos grãos da microdieta é afetada, apresentando desafios para o manejo alimentar de peixes carnívoros como o pirarucu. Assim sendo, até o estabelecimento das necessidades nutricionais específicas às larvas de cada espécie de peixe é desafiador, pela dificuldade de quantificar o alimento ingerido e com isso determinar fatores como palatabilidade e digestibilidade. Porém, o uso de microdietas possibilita fornecer um alimento

nutricionalmente completo, permitindo o balanceamento além de micronutrientes como o vitaminas e minerais (Yufera et al., 1999). Além disso são mais facilmente armazenadas, transportadas, e sua quantificação em cada alimentação é mais precisa do que no alimento vivo e, diferente deste, não são hospedeiras naturais de patógenos (Hamre et al., 2013).

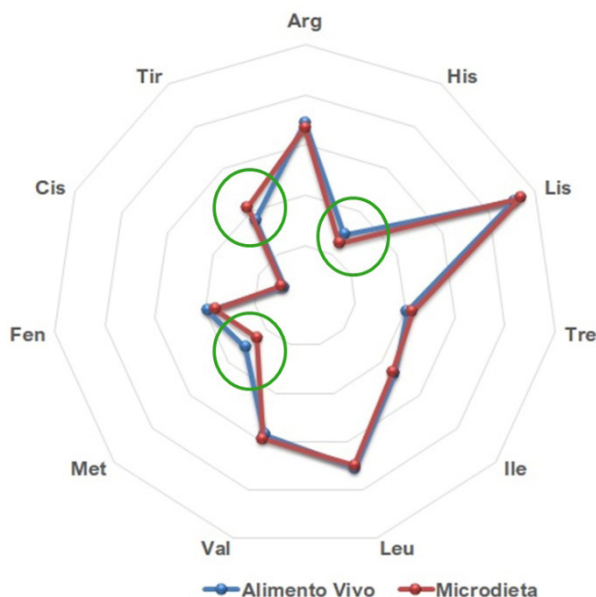
A qualidade da proteína, isto é, os aminoácidos que a compõe, são fundamentais na nutrição do pirarucu, ainda mais em sua fase juvenil. Uma microdieta comercial analisada por Fonseca (2019) apresentou em sua composição um perfil de aminoácidos essenciais, aqueles fundamentais na nutrição, equivalente à dieta de zooplâncton rica em cladóceros (Figura 14). Com isso, dos 11 aminoácidos analisados, sendo 10 essenciais, apenas 3 foram diferentes entre as dietas e só em 2 o alimento vivo apresentou um percentual maior.



Figura 14. Grafico de radar comparando a composição de aminoácidos essenciais para peixes entre o alimento vivo (74% cladoceros) e Microdieta (ração comercial).

Caso o produtor não consiga uma microdieta de qualidade, a alternativa é o uso da ração em pó. Faz-se relevante ressaltar que a nutrição afeta diretamente o desempenho dos juvenis. Por isso, o produtor deve estar atento e monitorar o crescimento das larvas, anotando as condições de cada treinamento e os resultados obtidos.

## 4.2 Protocolos de Treinamento Alimentar

Vários protocolos de treinamento alimentar têm sido usados com sucesso e refletem as condições particulares e a disponibilidade de recursos de cada produtor. Abaixo encontram-se descritos três protocolos diferentes que se mostraram eficientes no treinamento alimentar de juvenis de pirarucu.

Protocolo 1: Alcântara et al., (2019) avaliou o início precoce e tardio de juvenis pra transição alimentar: 2 e 4 cm de comprimento total, respectivamente. Os resultados apresentados mostram que os juvenis que iniciaram o treinamento com 4 cm tiveram

melhor desempenho ao final de 30 dias após a transição alimentar (Tabela 1).

| Idade (DAE) | Variáveis | Início do Treinamento | | *p* |
|---|---|---|---|---|
| | | Precoce (2 cm) | Tardio (4 cm) | |
| 18 | CP (cm) | 0,83 ± 0,23 | 0,87 ± 0,17 | ns |
| | GP (g) | 0,064 ± 0,03 | 0,074 ± 0,02 | ns |
| | TCR (%/dia) | 12,33 ± 3,99 | 15,65 ± 7,83 | ns |
| | Sobrevivência (%) | 92,46 ± 3,26a | 87,71 ± 4,58b | *** |
| 50 | CP (cm) | 1,28 ± 0,75b | 3,45 ± 0,90a | *** |
| | GP (g) | 0,434 ± 0,40b | 1,841 ± 0,61a | *** |
| | TCR (%/dia) | 4,81 ± 2,20b | 9,15 ± 1,35a | *** |
| | Sobrevivência (%) | 34,49 ± 13,14b | 89,52 ± 7,72a | *** |

Tabela 1. Desempenho de juvenis de pirarucu aos 18 e 50 DAE submetidos a treinamento alimentar com 2 cm e 4 cm, 09 e 17 dias após eclosão (DAE), respectivamente. Adaptado de Alcântara, (2019).

Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre os tamanhos ($p<0,05$). CP: Comprimento Padrão, GP: Ganho de Peso, TCR: Taxa de Crescimento Relativo.

O protocolo de treinamento alimentar utilizou co-alimentação durante 9 dias, e mudança gradual de alimento vivo (AV) por alimento inerte (AI) (%AV: %AI): 75-AV:25-AI; 50-AV:50-AI; 25-AV:75-AI. O alimento vivo era composto de náuplios de artêmia, eclodidos duas vezes ao dia (07:00 e 15:00 h) e mantidos em refrigeração para manter o estágio Insta I. A ração utilizada foi de 200-300 µm com 57% de proteína bruta. Os peixes foram alimentados em intervalos de 1:30 h, 13 vezes ao dia das (06:00 à 00:00 h), durante 40 dias. A quantidade de alimento foi calculada com base no peso em 10% biomassa, até iniciar a co-alimentação.

Os juvenis que iniciaram a transição aos 2 cm apresentaram o mesmo desempenho do que os pirarucus alimentados somente com alimento vivo (náuplios de artêmias), exceto pela sobrevivência que foi 5% maior. Um mês após o início do treinamento alimentar dos juvenis de 4 cm, o desempenho do lote com treinamento tardio foi melhor, inclusive na sobrevivência. Os pirarucus treinados para comer ração somente aos 4 cm apresentaram comprimento 2x maior, ganho de peso 4x maior e sua taxa de crescimento foi o dobro da observada nos pirarucus que iniciaram o treinamento precoce aos 2 cm.

Protocolo 2: Fonseca (2019) utilizou um protocolo experimental (Figura 15):

PRE | CoAlimentação | POS
100 % | 75 – 25 % | 50 – 50 % | 25 – 75 % | 100 %

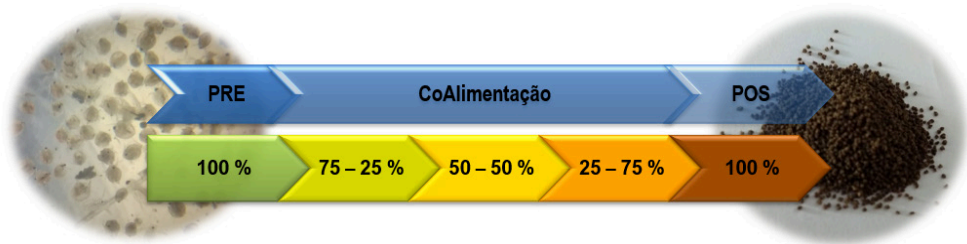



Figura 15. Diagrama do protocolo de treinamento alimentar de alimento vivo (zooplâncton) para microdietas, ração para juvenis de pirarucu.

Os juvenis foram coletados um dia após o enchimento da bexiga natatória, aproximadamente aos 9 dias após a eclosão (DAE) até os 48 DAE. Durante este período, as larvas de pirarucu foram alimentadas 9x/dia, a cada duas horas (das 8:00 às 00:00 horas). Durante o período pré-treinamento alimentar (9 a 15 DAE), os peixes foram alimentados com zooplâncton natural (de 4 a 10 indivíduos mL-1). A co-alimentação de alimento vivo com microdieta durou 6 dias entre 16 e 21 DAE (75-25%, 50-50% e 25-75% com 2 dias para cada etapa de substituição). Após o treinamento alimentar, 21 a 48 DAE, as larvas de pirarucu foram alimentadas somente com microdieta. A microdieta utilizada foi extrudada a frio (60% proteína bruta), o tamanho foi de 200 a 300 $\mu$m durante a co-alimentação, de 500 a 800 $\mu$m e de 800 a 1.200 $\mu$m após o treinamento alimentar. Os peixes foram estocados em galpão com tanques circulares de fibra de vidro com 500 L de volume útil em sistema de abastecimento semiaberto com aeração constante e densidade de 1 peixe/L.

Os peixes apresentaram comprimento total de 2,1 ± 0,1 cm e 7,5 ± 0,9 cm, no primeiro (9 DAE) e no último dia (48 DAE) do experimento, respectivamente, crescendo 5,40 cm em 39 dias. Durante o período de treinamento alimentar (15 a 21 DAE) a taxa de crescimento dos juvenis diminuiu, voltando a crescer duas semanas após a transição alimentar para a ração (Tabela 2).

| Idade Larval (DAE) | Taxa de Crescimento Relativo (% peso seco/dia) |
|---|---|
| 9 - 12 | 29,12 |
| 12 - 15 | 11,46 |
| 15 - 21 | 6,68 |
| 21 – 33 | 14,19 |
| 33 – 48 | 18,62 |

Tabela 2: Taxa de crescimento relativo (% peso seco / dia) de larvas de Arapaima gigas de 9 a 48 DAE (FONSECA, 2020).

Protocolo 3: A estratégia adotada por Nobre (comunicação pessoal) foi:

Após captura os juvenis são alimentados por pelo menos 3 dias somente com

zooplâncton vivo de viveiro com manejo alimentar, iniciando às 6:00 e finalizando às 22:00h com intervalo de 2h. Do 3° ao 13° dia, das 6:00 as 20:00h, mistura-se o zooplâncton com o pó de ração comercial (55% de proteína bruta). Do 13° ao 15° dia, introduz-se na alimentação ração com pellets de 0,8 mm, onde ela é inserida de forma gradativa até a eliminação do pó, das 6:00 às 18:00h. A ração com 0,8 mm é ofertada por um período de 7 dias (15° a 22°) em que deverá passar novamente pela transição para ração de 1 mm das 6:00 às 18:00h. Finalmente, do 22° ao 30° dia faz-se a transição para a ração de 1,5 mm mantendo o mesmo horário anterior.

No protocolo usado por Nobre considera-se não apenas a transição entre zooplâncton e ração, mas também entre as diferentes granulometrias de ração. Esse protocolo é comumente aplicado em ambiente externo, quando os filhotes são retirados dos tanques dos reprodutores e transferidos para tanques menores, os berçários. Em adição, o manejo mais recomendado para coleta de alevinos de pirarucu, independente da estrutura, é entre 2 a 5 cm de comprimento. Neste intervalo, os peixes já absorveram por completo o saco vitelínico e podem iniciar a ingestão de zooplâncton, e a partir de 4 cm já possuem capacidade de digerir uma maior variedade de alimentos, como por exemplo, as ostracodas.

## 5 | OUTROS ASPECTOS ASSOCIADOS À NUTRIÇÃO NA PRODUÇÃO DE JUVENIS DE PIRARUCU

A nutrição é um aspecto que permeia toda a criação animal, não apenas do pirarucu. Assim, alguns aspectos estão associados a ela, e mesmo não sendo estritamente da nutrição ou alimentação de peixes, não deixam se serem tecnologias que devem ser usadas junto com a alimentação.

### 5.1 Classificação dos Juvenis Até a Recria

Os juvenis de pirarucu podem apresentar um crescimento de aproximadamente 25 mm por dia no início da alimentação exógena com zooplâncton (Figura 16). Isso, portanto, corresponde a mais de 1 cm por semana em condições adequadas.

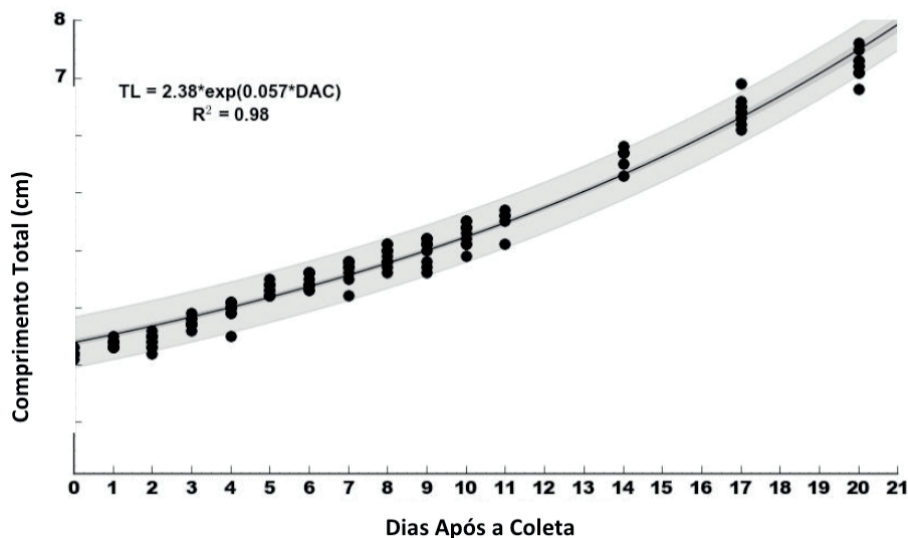



Figura 16. Curva de crescimento em comprimento total de juvenis de pirarucu após a coleta nos tanques de reprodução. As larvas foram coletadas com aproximadamente 8 dias após a eclosão (ALCÂNTARA, 2019).

É comum a existência do crescimento desigual entre indivíduos do mesmo lote. Certamente, os juvenis devem ser classificados e separados por grupos de tamanho. Essa classificação deve ser feita semanalmente, pois a partir de 7 dias, as diferenças de tamanho podem ocasionar dominância dos indivíduos maiores sobre os menores. Com isso, os peixes maiores agridem os menores, impedindo-os de se alimentar, causam lesões, gerando peixes pequenos, desnutridos e que consequentemente aumentam a desigualdade do lote e com a presença de lesões que podem aumentar a mortalidade.

Uma prática fácil e eficiente para evitar esse comportamento é padronizar o lote, colocando os peixes numa bacia grande com um tecido de voal por baixo, para assim facilitar a captura, e usar peneiras de plástico para ir separando os indivíduos maiores dos menores em outras bacias com água (Figura 17). No início, a diferença entre eles é facilmente observada, entretanto, depois da retirada destes, sobra um grupo com tamanho intermediário, cuja a classificação não é tão nítida. Assim, ficamos com 3 grupos de tamanho que devem ser mantidos separados e alimentados até a próxima classificação. Nesse sentido, os lotes devem ser agrupados por tamanho e não apenas por idade.

Figura 17. Classificação das formas jovens de pirarucu na Piscigranja Boa Esperança, Rondônia.

É importante aproveitar o momento da classificação para realizar a biometria de alguns exemplares. Os dados de idade e crescimento devem ser anotados e depois utilizados para a criação de uma tabela e de um gráfico de crescimento, como apresentado na Figura 16. Esses gráficos e tabelas podem ser facilmente executado num arquivo Excel. Assim o produtor poderá acompanhar o crescimento dos lotes e comparar o desempenho obtido entre diferentes reprodutores, manejos alimentares, condições de criação, etc.

## 5.2 Qualidade da Água

A qualidade da água também é de grande importância. É um erro muito comum achar que a habilidade do pirarucu de respirar oxigênio do ar é suficiente para que não se precise ser exigente no cuidado com a água do ambiente de criação. O pirarucu fica dependente do oxigênio atmosférico a partir dos 500 g de peso, mas mesmo após esse tamanho ele utiliza a água pra excretar gás carbônico e amônia. Portanto, se a água estiver com níveis elevados dessas duas variáveis, por exemplo, seu crescimento será prejudicado. Outro fator significativo é a temperatura. Quando criado em locais diferentes do seu ambiente natural, é fundamental lembrar que é um peixe tropical, o qual necessita de temperaturas entre 27 a 30 °C para um melhor crescimento.

A água de qualidade evita doenças oportunistas e propicia um crescimento otimizado. Quanto mais estáveis forem os parâmetros de qualidade de água, melhor será o desempenho. Em vista disso, uma análise da água dos berçários durante todo o período se faz necessário, bem como da fonte de água utilizada no galpão, em sistema fechado. Inclusive, a água de poço, de pH baixo, comumente causa um baixo desempenho em crescimento dos juvenis de pirarucu.

## 5.3 Densidade de Estocagem

A densidade de estocagem dos peixes nos viveiros e tanques está associada a custos de produção, sua capacidade produtiva e consequentemente, ao lucro dessa

atividade. A quantidade de peixes estocados depende do comprimento dos peixes, da qualidade e quantidade de água disponível, do tipo de ambiente, seja viveiro escavado ou tanques circulares, e do manejo alimentar adotado. Santana et al., (2020) utilizando tanques circulares com volume útil de 50 L, estocaram juvenis de pirarucu de 6 cm durante um mês em densidades que representam 400, 800, 1200, 1600 e 2000 peixes/$m^3$. Aqueles autores avaliaram o desempenho, e principalmente a relação entre custo e receita totais (Figura 18).

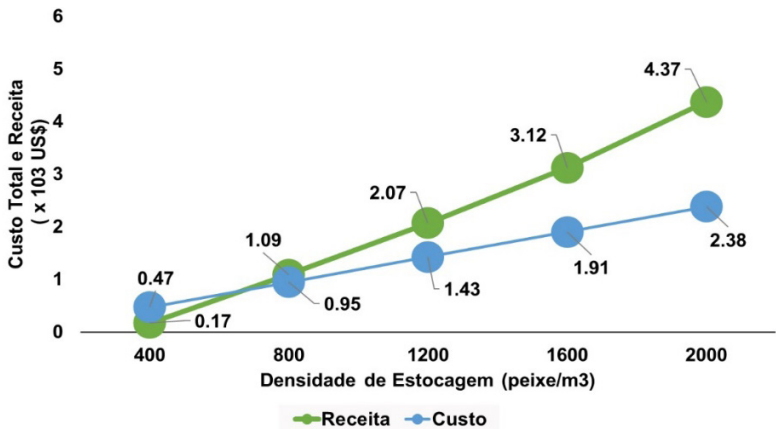



Figura 18. Renda total e custo total pela densidade de estocagem (US $ 1,00 = R $ 5,11/abril 2020). Adaptado de Santana et al. (2020).

Segundo àquele estudo, o custo de produção de larvas de pirarucu em diferentes densidades de estocagem foi calculado considerando o custo da compra de larvas (US $ 1,1 /larva), o custo de alimentação (US $ 1,73/kg) e o valor de venda dos juvenis de pirarucu de acordo com comprimento (US $ 0,20 cm). O melhor resultado foi a maior densidade avaliada, de 2000 peixes/$m^3$.

Esses dados corroboram o observado por Nobre (comunicação pessoal) que recomenda as seguintes densidades em função do comprimento dos juvenis de pirarucu para o treinamento alimentar:

| Tamanho do peixe (cm) | Peixes/$m^3$ |
|---|---|
| 3 a 10 | 2.000 |
| 10 a 15 | 800 |
| 15 a 20 | 150 |

Tabela 3: Densidade de estocagem em função do comprimento de juvenis de pirarucu em caixas circulares de 1000 L (NOBRE, comunicação pessoal).

### 5.4 Tamanho do Juvenil pra Recria ou Quando um Juvenil se Torna um "Alevino"

Quando um juvenil de pirarucu está pronto para a recria? Vários fatores podem pesar nessa decisão, tais como: custo de produção, valor de mercado para compra e logística de transporte - peixes maiores são mais onerosos. Ainda, há quem prefira peixes

menores por apresentarem um valor “mais em conta”, outros, peixes maiores, pois são mais resistentes. E mediante ao exposto nesse capítulo, sugerimos que o juvenil de pirarucu, ou “alevino”, se preferir, está apto após passar por todas as fases do treinamento alimentar, além de poder ter sido submetido a procedimentos profiláticos ou de tratamento contra possíveis parasitoses. Contudo, há um ponto pouco mencionado: como apresentado no início do texto, uma das características para ser chamado de juvenil é apresentar as características semelhante às de um adulto. Porém, o pirarucu só apresenta formação completa de escamas quando atinge aproximadamente 15 cm de comprimento total. Como já destacado, esse tamanho pode ser atingido com diferentes idades em função da alimentação e do manejo empregados.

As escamas costumam se formar entre os 10 a 12 cm, iniciando pelas extremidades do peixe. Neste período, o crescimento diminui, uma vez que a energia é direcionada para a formação das escamas, com isso, passa a ser um momento delicado para o jovem pirarucu. Com a sua escamação completa, este se encontra mais protegido a variações na qualidade da água, contra possíveis parasitos da pele e alguns predadores. A partir deste momento então, ele começa a apresentar uma maior taxa de crescimento, pela qual é conhecido.

Um dos motivos que esse ponto é pouco abordado é pelo fato de antes de surgirem as escamas, a pele do pirarucu apresenta um padrão ou marcas de onde elas irão ser formadas. E sem a observação atenta, muitos produtores presumem que aquelas marcas já sejam as escamas (Figura 19). Na figura abaixo podemos observar um juvenil com as escamas totalmente formadas e depois um indivíduo mais jovem sem as escamas, apenas com as marcas de onde elas irão surgir na pele.

Figura 19. Vista em detalhe do ventre de juvenis de pirarucu em dois momentos do desenvolvimento, antes e após a escamação (Foto: Francisco Dantas).

A escamação é uma fase importante e ainda negligenciada na criação de formas

jovens desta espécie. Todavia, é um fator de teor significativo e que deve ser levado em consideração na criação do pirarucu, tanto na compra quanto na venda dos juvenis. É provável que seja oportuno propor uma diferenciação ou classificação para o juvenil de pirarucu que já não é considerado larva, uma vez que já consume alimento exógeno, mas que ainda não apresenta escamação completa. Uma vez que essa é uma característica tão importante da forma definitiva do pirarucu.

## 6 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda há muito o que ser descoberto e aprendido sobre o pirarucu. As informações aqui disponibilizadas não são definitivas mas representam um conjunto recente de informações que colaboram para o aumento da produção de formas jovens dessa espécie tão promissora para a piscicultura.

## REFERÊNCIAS


ALCÂNTARA, A.M. DE, FONSECA, F.A.L. DA, ARAÚJO-DAIRIKI, T.B., FACCIOLI, C.K., VICENTINI, C.A., DA CONCEIÇÃO, L.E.C., GONÇALVES, L.U., Ontogeny of the digestive tract of Arapaima gigas (Schinz, 1822) (Osteoglossiformes: Arapaimidae) larvae. **J. World Aquac. Soc.** v.50, n.1, p. 231-241, Fev., 2019.

ALCÂNTARA, A.M. DE. **Larvicultura do pirarucu: Ontogenia do trato digestório, desempenho zootécnico e crescimento muscular durante o desmame.** Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Nilton Lins/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, p. 90. 2019.

COPP, G.H., KOVÁČ, V.; HENSEL, K. Prelude: Looking at Early Development in Fishes. **Environmental Biology of Fishes,** v. 56**, p.** 7–14, 1999.

CORTEGANO, C.A.A., DE GODOY, L.C., PETENUCI, M.E., VISENTAINER, J.V., AFFONSO, E.G., GONÇALVES, L.U. Nutritional and lipid profiles of the dorsal and ventral muscles of wild pirarucu. **Pesqui. Agropecu. Bras.** v. 52, p. 271–276, 2017.

FERRARIS J.R., C.J. Family Arapaimatidae (Bonytougues), *In*: REIS, R. E.; KULLANDER, S. O.; FERRARIS J.R., C.J. (Ed.), **Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America.** Porto Alegre: Edipucrs, 2003. p. 32-33.

FOGAÇA, F.H. DOS S., OLIVEIRA, E.G. DE, CARVALHO, S.E.Q., SANTOS, J.F. DE S. Rendimento e composição do filé de pirarucu em diferentes classes de peso. **Acta Sci. - Anim. Sci.** v.33, p. 95–99, 2011.

FONSECA, F.A.L. DA. **Uso de alimento vivo e microdietas na nutrição de juvenis de *Arapaima gigas*.** Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Nilton Lins/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, p. 90. 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Arapaima gigas. Disponível em: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Arapaima_gigas/en/ Acesso em: 20 jul. 2020.

GOMES, L.C. ; ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M. ; ROUBACH, R. Alevino um termo equivocado na piscicultura Brasileira com consequências no setor produtivo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia (EMBRAPA)**, Brasilia, v. 20, n.2, p. 353-359, 2003.

GONÇALVES, L.U., FRANÇA, L.A., EPIFÂNIO, C.M., DA FONSECA, F.A.L., DE ALCÂNTARA, A.M., DO NASCIMENTO, R.G., SILVA, E.N.S., DA CONCEIÇÃO, L.E.C. Ostracoda impairs growth and

survival of Arapaima gigas larvae. **Aquaculture**, V.505, p. 344–350, 2019.

HAMRE, K., YÚFERA, M., RØNNESTAD, I., BOGLIONE, C., CONCEIC, L.E.C., IZQUIERDO, M. Fish larval nutrition and feed formulation: knowledge gaps and bottlenecks for advances in larval rearing. **Rev. Aquac.** v.5, p. 26--58, 2013.

HARVEY, B., SOTO, D., CAROLSFELD, J., BEVERIDGE, M., BARTLEY, D.M. **Planning for aquaculture diversification: the importance of climate change and other drivers**. FAO Techni. Roma: ed. FAO, 2017.

HILL, J. E.; LAWSON, K. M. Risk Screening of Arapaima, a New Species Proposed for Aquaculture in Florida. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 35, n. 5, p. 885–894, 2015.

IMBIRIBA, E.P. Potencial de Criação do Pirarucu em Cativeiro. **Acta Amaz**. v. 31, p. 299–316. 2001.

LIMA, A.F., TAVARES-FILHO, A., MORO, G.V. Natural food intake by juvenile Arapaima gigas during the grow-out phase in earthen ponds. **Aquac. Res**. v. 49, p. 2051–2058, 2018.

RUIZ TAFUR, K.M., DÁVILA PANDURO, L., PALOMINO TRIGOSO, V.Y., YAHUARCANI TAMINCHE, C., ALVAN- AGUILAR, M.A., AYARZA RENGIFO, J., CHU-KOO, F.W. Desarrollo larval del paiche o pirarucu *Arapaima gigas* ( SCHINZ , 1822 ). **FOLIA Amaz.** v. 26, p. 59–74, 2017.

SANTANA, T.M., ELIAS, A.H., DA FONSECA, F.A.L., FREITAS, O.R., KOJIMA, J.T., GONÇALVES, L.U. Stocking density for arapaima larviculture. **Aquaculture** v.528, 735565. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735565. Acesso em 18 out. 2020.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL-SENAR. **Piscicultura: reprodução, larvicultura e alevinagem de peixes nativos**. / (Coleção SENAR) Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: SENAR, 132 p. 2017.

YUFERA, M., PASCUAL, E., FERNÁNDEZ-DÍAZ, C. A. highly efficient microencapsulated food for rearing early larvae of marine fish. **Aquaculture**, v. 177, p. 249–256, 1999.

# REPRODUÇÃO E PRESERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DAS ESPÉCIES DE IMPORTÂNCIA COMERCIAL

# SEÇÃO D

# CAPÍTULO 15

# TECNOLOGIAS APLICADAS À REPRODUÇÃO DE PEIXES AMAZÔNICOS

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Eduardo Antônio Sanches**
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Centro de Aquicultura
Registro – São Paulo
https://orcid.org/0000-0003-0808-6657

**Diógenes Henrique de Siqueira-Silva**
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Marabá – Pará
https://orcid.org/0000-0001-8569-474X

**Gabriela Brambila de Souza**
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Ocidental
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-6385-5239

**Ana Carina Nogueira Vasconcelos**
Johns Hopkins University, Institute for NanoBioTechnology
Baltimore - Maryland, USA
https://orcid.org/0000-0002-2544-3698

**Jayme Aparecido Povh**
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
Campo Grande - Mato Grosso de Sul
https://orcid.org/0000-0003-3315-018X

**Danilo Pedro Streit Jr.**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
https://orcid.org/0000-0001-8735-9638

**RESUMO:** Para que a reprodução de peixes amazônicos se torne um processo cada vez mais eficiente há a necessidade de profissionalismo e dedicação de todos os elos que trabalham nesta área, tanto de pesquisadores, professores, estudantes técnicos e produtores. Neste sentido a evolução dos métodos reprodutivos em laboratório e o entendimento dos processos que envolvem a reprodução induzida são imprescindíveis. Assim, tecnologias são necessárias para que o quebra-cabeça da reprodução seja montado, e deste modo, os métodos possam ser aplicados com segurança para os produtores. Desta forma, várias tecnologias podem ser aplicadas na reprodução de peixes amazônicos, sendo elas relacionadas aos processos fisiológicos, biotecnológicos, de qualidade de gametas e aplicações práticas na conservação de material genético e manejo *in situ*. Com isso, é possível evoluirmos nas técnicas e aplicá-las diretamente ao setor produtivo.

**PALAVRAS-CHAVE**: biotecnologia aplicada, conservação de gametas, eficiência reprodutiva, fisiologia reprodutiva, manejo reprodutivo, qualidade de gametas.

## TECHNOLOGIES APPLIED TO THE REPRODUCTION OF AMAZON FISH

**ABSTRACT:** In order to make the reproduction of Amazonian fish a more efficient process is necessary the professionalism and dedication of all the sectors that work on this area, as researchers, professors, technical students and producers. In this sense, the evolution of the reproductive methods in the laboratory and the knowledge of the process that involves the artificial reproduction are essential. Thus, technologies are necessary to the reproduction puzzle assembly, and the methods may be safely applied for the producers. Therefore, several technologies may be applied in the reproduction of Amazonian fish, being

them related to the physiological process, biotechnological, gametes quality and practical application in the conservation of genetic material and in situ management. Thereby, it is possible to evolve in the techniques and apply them directly in the productive sector.

**KEYWORDS:** Applied biotechnology, gametes conservation, gametes quality reproductive efficiency, reproductive management, reproductive physiology.

## 1 I INTRODUÇÃO

Na Amazônia, o peixe é a principal fonte de proteína de origem animal consumida pela população. Nas regiões ribeirinhas, por exemplo, esse consumo pode ultrapassar os 100 kg *per capita* ao ano. Esse alto consumo pode ser explicado pela cultura local e pelas características regionais. Sobre as características regionais, a riqueza hídrica abriga uma alta diversidade de espécies de peixes,onde mais de 3.000 espécies já foram catalogadas, embora apenas cerca de 100 espécies, sejam exploradas comercialmente para o consumo, o que pode sobrecarregar os estoques naturais de espécies-alvo.

A produção global de peixes para aquicultura tem aumentado constantemente nos últimos anos, registrando crescimento acima de 500% entre 1990 e 2018 [1]. Os fatores associados a esse incremento da produção incluem aumento da renda mundial e conscientização sobre os benefícios nutricionais para a saúde humana, redução de perdas e desperdícios no processamento da carne e, finalmente, o desenvolvimento tecnológico, que envolve o aprimoramento de protocolos já padronizados, como o refinamento de métodos para induzir a reprodução artificial, bem como o desenvolvimento de novas abordagens científicas que incluem ferramentas tecnológicas cada vez mais precisas [2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9]. Estas ferramentas estão cada vez mais evidentes e empregadas nas pesquisas que têm por objetivo contornar e entender as disfunções reprodutivas existentes em peixes e consequentemente desenvolver tecnologias que possam ser aplicadas na produção comercial. Muitas dessas tecnologias são aplicadas a diferentes espécies de peixes ao redor do mundo, e são passíveis de serem aplicadas para as espécies de peixes amazônicas. Neste sentido, o presente capítulo tem por finalidade apresentar estas tecnologias e o que já foi empregado até o momento, assim como perspectivas de novas tecnologias para a reprodução das espécies amazônicas de interesse comercial.

## 2 I FERRAMENTAS FISIOLÓGICAS APLICADAS À REPRODUÇÃO

A reprodução em teleósteos é modulada por estímulos ambientais (temperatura da água, fotoperíodo, etc) [10], e endogenamente é controlada pelo sistema neuroendócrino, mediado pelo eixo hipotálamo-hipófise-gônadas (H-H-G) [11]. Os estímulos ambientais captados por receptores sensoriais são transduzidos pelo sistema nervoso e estimulam neurônios hipotalâmicos a sintetizar e liberar o neuro-hormônio chamado Hormônio Liberador das Gonadotropinas (GnRH), que por sua vez estimula as células gonadotrópicas na adeno-hipófise a sintetizar e liberar as gonadotropinas, (Hormônio Folículo-Estimulante - FSH e Hormônio Luteinizante - LH). Via corrente sanguínea, o FSH e o LH agem nas gônadas e estimulam a produção dos hormônios esteroides gonadais. Esses por sua vez, em fase reprodutiva, atuam na produção de vitelogenina em fêmeas e na maturação e

liberação dos gametas em machos e fêmeas [12; 13].

Entender o ciclo reprodutivo de uma espécie de peixe é um dos primeiros passos para definir qual melhor método de reprodução em laboratório [14]. Mesmo que a maioria dos peixes migratórios produzidos no Brasil respondam bem a protocolos de indução com extrato bruto de hipófise de carpa [15], a maioria dessas espécies não foram estudadas quanto ao seu sistema fisiológico reprodutivo, o que poderia otimizar tempo, número de reprodutores e, consequentemente, dinheiro para a sua produção em laboratório. Este sistema tem sido estudado em algumas espécies de peixes para diferentes fins, como por exemplo, na identificação da falha na reprodução espontânea de peixes reofílicos impedidos de migrar [14] e também na solução deste problema [16; 17]. Portanto, a utilização das ferramentas corretas para o estudo da fisiologia reprodutiva é de suma importância para os avanços científicos e de produção de peixes.

Para averiguação do ciclo reprodutivo existem algumas técnicas laboratoriais importantes, como por exemplo, HPLC (cromatografia líquida de alta performance), Radioimunoensaio, Hibridização in situ, qPCR, Elisaimunoensaio e Histologia. Cada uma dessas técnicas tem sua especialidade, sua dificuldade de execução e conseguem responder por parte do eixo. Essas técnicas têm sido utilizadas para determinação de parte deste ciclo reprodutivo em algumas espécies de interesse comercial no Brasil, porém, esses dados são escassos. O dados de GnRH, por exemplo, foram descritos em pacu (*Piaractus mesopotamicus)* [18], curimbatá (*Prochilodus lineatus)* [19] e lambari (*Astyanax altiparanae)* [20; 21]. As gonadotropinas também são espécies específicas e sua determinação é dificultada nas espécies brasileiras por falta de estudos. Apesar disso, já foram descritas as duas formas (fshβ e lhβ) em *A. altiparanae* [22], tabarana (*Salminus hillari)* [23] e pirarucu (*Arapaima gigas)* [24; 25; 26], ou apenas uma das gonadotropinas a exemplo *P. mesopotamicus* [27]. Por fim, para hormônios esteróides existem kits comerciais de ELISA para algumas espécies que podem ser usados, desde que validados, em outras [23; 28; 29].

Como dito anteriormente apesar desses estudos serem importantes para otimização da produção nacional eles ainda são escassos com as espécies de interesse comercial no Brasil, principalmente em espécies amazônicas. Recentemente foi publicado o transcriptoma do tambaqui (*Colossoma macropomum*) durante a diferenciação gonadal [30], esse tipo de estudo gera um arsenal de informações que podem melhorar alguns enigmas nos estudos do eixo HPG das diferentes espécies.

## 3 | BIOTECNOLOGIAS APLICADAS À REPRODUÇÃO

Com o objetivo de atender à crescente demanda global, a inovação em tecnologia tem se mostrado essencial na aquicultura, e ferramentas biotecnológicas têm sido utilizadas em diferentes espécies de peixes. Um exemplo disso é a edição do DNA e a sua aplicação em uma escala que não é possível em animais de criação terrestres [31], visto que a maioria das espécies de peixes apresentam alta fecundidade e fertilização.

A edição pela técnica CRISPR (repetições palindrômicas curtas agrupadas e regularmente espaçadas) permite alterações específicas e direcionadas no genoma das espécies de interesse, modificando suas funções genéticas. Essa forma de edição foi recentemente aplicada com sucesso *in vivo* e/ou em linhagens celulares de várias

espécies da aquicultura, incluindo salmão-do-atlântico (*Salmo salar*) [32; 33; 34], ostra-do-pacífico (*Crassostrea gigas*) [35] e tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) [36; 37; 38]. Suas muitas aplicações potenciais incluem a correção de defeitos genéticos, tratamento e prevenção da propagação de doenças, melhora no crescimento e desempenho reprodutivo, eficiência de conversão alimentar e tolerância a estressores ambientais. Outro uso eficaz da técnica é a obtenção de esterilidade total dos animais de produção, evitando a reprodução entre os escapes e animais silvestres, o que é muito significativo para a piscicultura brasileira que usa inúmeros híbridos que podem ser férteis quando atingem a maturidade sexual.

A tecnologia CRISPR tem um enorme potencial para contribuir para a melhoria da quantidade, qualidade e sustentabilidade da produção de animais aquáticos em todo o mundo. No entanto, a aceitação pública é fundamental para que seu potencial seja atingido, e a técnica ainda divide a opinião pública. É importante considerar a natureza das características-alvo e se os benefícios potenciais vão além da produção e do lucro sustentáveis, pois características como a esterilidade animal trazem benefícios para o meio ambiente e para os estoques selvagens, assim como a resistência a doenças proporciona benefícios substanciais para o bem-estar animal.

Apesar da tecnologia CRISPR ainda não ter sido aplicada às espécies amazônicas, recentemente estudos envolvendo biologia molecular têm sido cada vez mais explorados e a principal espécie-alvo é *C. macropomum.* Entre as técnicas mais utilizadas estão o uso de marcadores microssatélites para identificar a origem dos animais [39], análise de transcriptoma para avaliação da expressão gênica [40; 41], uso de marcadores moleculares para identificação de células-tronco [42; 43] e a identificação de microRNAs [44]. Outras espécies amazônicas também têm sido alvo de estudos envolvendo microssatélites [45], filogenia e caracterização molecular de parasitas [46; 47; 48] e estudo de genes mitocondriais para análise de relações taxonômicas e evolutivas [49].

Outras técnicas, tais como a manipulação cromossômica, também podem ser aplicadas. A manipulação abrange um sistema de técnicas que têm por objetivo a alteração do número ou a combinação de genomas específicos ou conjuntos cromossômicos [50]. Este processo resulta na produção de uma prole de animais haploides, triploides ou tetraploides, além de indivíduos carregando somente lotes de cromossomos materno (ginogênese) ou paterno (androgênese) por meio de métodos que envolvem a manipulação química, choques de pressão ou choques de temperaturas dos zigotos recém-formados.

Dentre os métodos de manipulação cromossômica, a produção de espécies triploides, por meio de choque térmico, tem sido a mais empregada na piscicultura nacional. Ainda pouco desenvolvida, esta técnica apresenta exemplos de sucesso obtidos em espécies comercialmente importantes, de pequeno porte, como é o caso de *A. altiparanae* [51], e de médio porte, como curimbatã (*P. argenteus*) [52], jundiá-cinza (*Rhamdia quelen*) [53; 54], *P. lineatus* [55], *P. mesopotamicus* [56] e *C. macropomum* [57].

O objetivo principal para a produção de peixes triplóides envolve a busca por linhagens com maiores taxas de crescimento, rendimento de carcaça e qualidade de carne, uma vez que, usualmente, a triploidia provoca a esterilidade ou infertilidade das espécies [58]. Deste modo, toda a energia outrora convertida para a produção de gametas passa a ser investida em crescimento somático. Outras vantagens específicas podem ser obtidas,

como nos casos de *R. quelen* [59] e *C. macropomum* [60], cuja triploidização poderia promover esterilidade, evitando crescimento desproporcional entre os sexos, comumente observado em várias espécies. As desvantagens desta técnica, porém, incluem a dificuldade em se obter proles com 100% de indivíduos triplóides, a exemplo de *C. macropomum*, cuja maior taxa de sucesso reportada foi de 58,8% [57]. Além disso, o choque térmico pode prejudicar o desenvolvimento embrionário, culminando com uma baixa taxa de eclosão, como reportado para *P. lineatus* em que aproximadamente 12% do lote de embriões triploides eclodiram contra 79% do grupo diplóide controle [55].

A produção de animais ginogenéticos, que envolve dois passos principais: a inativação do genoma espermático por irradiação e; diploidização do genoma do oócito por choque de pressão ou térmico [50], também pode trazer ganhos significativos para a aquicultura nativa, uma vez que oportuniza a geração de lotes monossexo com genoma exclusivamente materno. Muitas espécies amazônicas apresentam crescimento diferenciado entre os gêneros, com as fêmeas atingindo maior crescimento que os machos, a exemplo de *C. macropomum* [60] e *R. quelen* [61]. Deste modo, é possível realizar a feminização de machos por intervenção hormonal, porém, usualmente esta técnica não produz lotes 100% femininos [62; 63]. Portanto, além da redução dos gastos com a compra de hormônios, a ginogênese pode produzir lotes com totalidade de fêmeas. Cabe aqui salientar que a ginogênese, porém, produz indivíduos homozigóticos, visto que somente os cromossomos maternos são mantidos, provocando, portanto, redução da heterogeneidade da população.

Outra técnica que tem sido aprimorada em todo o mundo, mas ainda não influenciou a produção aquícola brasileira é o transplante de células germinativas [64]. Inicialmente desenvolvida para o zebrafish (*Danio rerio*) [65], esta técnica se baseia na transferência de células germinativas tronco (células germinativas primordiais, oogônias ou espermatogônias) de um animal doador para um animal receptor, cuja gametogênese tenha sido deprimida. Estas células, então, colonizam as gônadas dos animais receptores e ali se diferenciam em gametas geneticamente provenientes da espécie doadora [8].

Apesar de ainda pouco difundido no Brasil, o transplante de células germinativas tem potencial para impulsionar a reprodução de espécies de peixes amazônicos, principalmente, daquelas espécies que precisam de grandes áreas para a reprodução e/ou de difícil reprodução, como é o caso de *A. gigas*. Células germinativas tronco podem ser extraídas de suas gônadas e transplantadas em espécies de menor porte, cuja reprodução em laboratório esteja dominada. A espécie receptora por sua vez produzirá oócitos e espermatozoides doadores que serão fertilizados artificialmente para a produção de proles da espécie alvo. Tal aplicação já tem sido utilizada na tentativa de reprodução de espécies comerciais de grande porte mundialmente importantes, como o esturjão (*Acipenser sinensis*) [66]; [67; 68] e o atum (*Thunnus maccoyii*) [69; 70]. No Brasil, porém, somente duas observações de sucesso do transplante de células germinativas para espécies nativas são conhecidas. Ambos os estudos descrevem o transplante interespecífico de espermatogônias entre machos adultos. No primeiro, uma pequena quantidade de espermatozoides de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) é produzida pelo *A. altiparanae* [64]. Já o segundo descreve o sucesso na obtenção do sêmen de *R. quelen*, utilizando *O. niloticus* como receptora [71]. Apesar de pertencerem a diferentes ordens, os machos de *O. niloticus* foram capazes de desenvolver a espermatogênese e produzir espermatozoides de *R. quelen*. Tal resultado evidencia

a possibilidade de utilização de *O. niloticus*, cuja espermatogênese pode ser facilmente depletada por choque de temperatura [72], como receptora para o transplante de outras espécies amazônicas de alto valor comercial ou para a preservação de germoplasma de espécies ameaçadas.

## 4 I AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE GAMETAS

Devido à diversidade de espécies de peixes amazônicos, várias estratégias reprodutivas podem ser adotadas para a propagação das espécies, dentre elas, a mais comum é a fertilização externa [73]. A fertilização externa ocorre quando os peixes liberam seus gametas na água e logo após o contato com a água ocorre à ativação das células espermáticas e consequentemente a entrada na micrópila dos oócitos e fertilização [74]. Entretanto, para que a fertilização possa ser exitosa, os gametas precisam apresentar qualidade satisfatória [75; 76]. Neste sentido, vários parâmetros podem ser avaliados para realizar estas estimativas, tanto para machos quanto para fêmeas [77].

A avaliação da qualidade dos gametas femininos é limitada pela estimativa das taxas de fertilização, eclosão e de larvas normais [78] além da estimativa do número total de oócitos produzidos [79]. Isso se deve principalmente em função da necessidade de fertilização imediata e/ou a curto tempo pós-extrusão, pois os oócitos perdem rapidamente a qualidade após a retirada das fêmeas [80]. Neste sentido, a estimativa da qualidade antes da fertilização acaba sendo limitada aos aspectos subjetivos de aparência, sendo a coloração e tamanho uniforme, ausência de sangue e líquido ovariano os principais parâmetros que podem ser avaliados [81]. Entretanto, por serem subjetivos, limitações de verificação da real qualidade são constantemente verificadas, ou seja, apesar de todas as características indicarem que os oócitos têm boa qualidade, muitas vezes isso não se reflete em bons resultados nas taxas de fertilização ou eclosão [82 87]. Assim, algumas alternativas podem ser utilizadas, como o é caso da aplicação do azul de trypan [83], que coram os oócitos ruins, por serem permeáveis ao corante [84]. A imersão de oócitos durante 3 e 5 minutos com a concentração de 0,2 e 0,4% do corante já se mostrou eficaz para uma espécie de surubim sul-americano[85].

Em machos a qualidade espermática pode ser avaliada a partir da análise de parâmetros espermáticos pós-coleta e submetidos à ativação por diferentes ativadores[86], já que os espermatozoides são imóveis no testículo e só entram em movimento após o contato com uma solução geralmente hipo-osmótica ao plasma seminal [87]. Porém, antes da ativação espermática a qualidade pode ser estimada com a avaliação dos parâmetros de integridade de membrana [88] integridade de DNA [89], metilação de DNA [90], peroxidação lipídica[91], estresse oxidativo [92] e índices de alterações morfológicas [93]. Além disso, determinação da concentração espermática [94], pH e composição do plasma seminal [95] também podem ser avaliados. Apesar dos parâmetros citados serem importantes nas avaliações da qualidade, a avaliação da motilidade espermática subjetiva [96] e objetiva [97] são fundamentais para a determinação da capacidade de natação dos espermatozoides. Neste sentido, nos últimos anos, a aplicação de ferramentas computadorizadas conhecidas como CASA (*Computer Assisted Sperm Analysis)* têm sido muito utilizadas [98], pois apresentam padrões de avaliações precisos sobre o percentual de células móveis, velocidades e comportamentos das células [99] possibilitando a avaliação mais precisa da qualidade dos

gametas de espécies amazônicas de interesse produtivo, tais como *C. macropomum* [100; 101], matrinxã (*B. cephalus* - sinônimo *B. amazonicus)* [102] e jundiá-amazônico (*Leiarus marmoratus*) [103].

## 5 I TECNOLOGIAS APLICADAS À CONSERVAÇÃO DE GAMETAS

A criopreservação é uma técnica considerada clássica para conservação de genes de interesse, a partir do congelamento de materiais biológicos em temperatura extrema (–196°C = $N_2$ líquido). De acordo com Bozkurt [104] é possível armazenar os materiais biológicos como inalterados por séculos com a capacidade de recuperar a funcionalidade da célula após o processo de descongelamento. Para este objetivo, tradicionalmente os protocolos de criopreservação (composições solúveis) contam com a presença de crioprotetores intracelulares e extensores. Este texto é voltado para a criopreservação de espermatozoides das espécies amazônicas, já que o desenvolvimento da técnica para embriões e tecido ovariano está distante em organismos aquáticos.

Cinquenta anos depois do primeiro registro de Polge et al. [105], foi publicado o primeiro estudo com espécie amazônica por Farias et al. [106]. Apenas seis espécies amazônicas foram estudadas até o momento, representando 25% do total de artigos publicados com criopreservação seminal de peixes neotropicais sul americanos. Uma particularidade comum foi observada nestas espécies, a vocação para a atividade piscícola, o que justifica *C. macropomum* possuir a maior número de publicação (55% do total). Por consequência, esta espécie conta com um protocolo de criopreservação seminal mais desenvolvido. É importante ressaltar também, que os estudos desenvolvidos usando esta biotécnica ocorreram em centros de pesquisas brasileiros e colombianos.

Quanto aos protocolos de criopreservação, diferentes combinações de crioprotetores e extensores já foram testados para as seis espécies amazônicas. Para *C. macropomum* os protocolos com diferentes crioprotetores intracelulares de: Varela Jr. et al. [107] (amidas e DMSO), de Carneiro et al. [108] (metilglicol) e Lenz et al. [109] (metanol) os resultados foram semelhantes e portanto recomendável para utilização. Um estudo complementar importante foi desenvolvido por Mello et al. [90], que provaram ser o DMSO e etilenoglicol os crioprotetores de menor citotoxidade. Para a pirapitinga (*Piaractus brachypomum*), outra espécie da família Serrasalmidae, tem um potencial uso comercial do sêmen criopreservado, já que o macho desta espécie é usado para produzir o híbrido tambatinga, utilizado na piscicultura brasileira. A partir dos estudos iniciais desenvolvidos na Colômbia por Fresneda et al. [110], o protocolo foi complementado por Ramirez-Merlano et al. [111] recomendando o envase em macrotubos de 2,5 ou 5 mL. Um protocolo alternativo usando metilglicol como crioprotetor intracelular foi proposto por Nascimento et al. [112].

Quanto a espécie *B. amazonicus (*sinonímia de *B. siebenthalae* e *B. cephalus*), cinco estudos com criopreservação seminal foram desenvolvidos, sendo dois brasileiros e três colombianos, destacando-se o estudo de Cruz-Casallas et al. [113]. Estes estudos usaram como referência a pesquisa de Carolsfeld et al. [114] com outra espécie de Bryconidae (*B. orbignyanus*), em que o protocolo foi composto com DMSO diluído em glicose [113].

Poucos estudos de criopreservação seminal foram desenvolvidos até o momento

com bagres amazônicos, muito embora inúmeras espécies despertem significativo interesse na piscicultura, seja no Brasil ou na Colômbia. Neste sentido, duas espécies do gênero *Pseudoplatystoma* (bagre rayado *P. metaense* e cachara *P. fasciatum*) foram investigadas por pesquisadores colombianos e uma particularidade interessante foi observada. Para ambas o protocolo deve conter DMSO [111; 115], contrário a recomendação de Caroslfeld et al. [114] para outra espécie do gênero (não amazônica), pintado *P. corruscans*.

O interesse por jundiá *L. marmoratus* para a piscicultura brasileira, ocorreu a partir do uso de machos no cruzamento com alguma espécie do gênero *Pseudoplatystoma* para a produção do híbrido denominado pintado amazônico. Dois estudos foram desenvolvidos com esta espécie, destacando que não houve a necessidade de uso de crioprotetor interno clássico (DMSO, metanol, etc), apenas um açúcar complexo, a trealose [103]. O estudo recente de Borges et al. [116], confirmou a necessidade de uso de um açúcar complexo para compor um protocolo de criopreservação de sêmen de *L. marmoratus*, pois os resultados não foram minimamente relevantes usando glicose.

O uso de bancos de germolplasma de espécies amazônicas tem uma perspectiva promissora e imediata de utilização na piscicultura Brasileira, em especial na produção de híbridos. Por outro lado, a manutenção de reserva genética em bancos de germoplasma, para uso a médio longo prazo, em programas de melhoramento genético das espécies amazônicas deve ser priorizada. Para isso os protocolos devem continuar a ser aprimorados a fim de torná-los eficientes e assertivos e não apenas especulativos.

## 6 | TECNOLOGIAS APLICADAS AO MANEJO DE REPRODUTORES

Os primeiros trabalhos com reprodução induzida de peixes reofílicos foram desenvolvidos na década de 30, mas resultados expressivos ocorreram apenas a partir da década de 70 [15]. Desde então, pesquisas têm sido aplicadas principalmente no (i) aprimoramento do protocolo tradicional de reprodução com extrato de hipófise de carpa [117; 118], tais como a associação de extrato de hipófise de carpa com prostaglandina [119] e na utilização de outros indutores hormonais, como o Ovopel® [120]; e (ii) ajustes no manejo reprodutivo (ex: dose inseminante [121] e sistemas reprodutivos [122]). Embora estas pesquisas tenham contribuído para reprodução de peixes reofílicos, ainda há poucas tecnologias desenvolvidas para estas espécies.

A reprodução dos peixes reofílicos no ambiente natural é desencadeada principalmente pelo fotoperíodo, temperatura e chuvas [123]. Interessante observar que o período reprodutivo em laboratório é distinto entre as espécies reofílicas em diferentes regiões do Brasil como, por exemplo, para *C. macropomum*, cujo sucesso na reprodução induzida geralmente ocorre entre os meses de novembro e fevereiro em Mato Grosso (Região Centro-Oeste), mas em Manaus (Região Norte) este período é maior. Dessa forma, pode-se inferir que controlar o fotoperíodo, temperatura e volume de água no laboratório pode proporcionar uma maior amplitude na reprodução destas espécies, atualmente concentrada em poucos meses em grande parte do Brasil. No entanto, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias aplicadas para este propósito.

Pesquisas recentes têm mostrado que os peixes reofílicos podem retornar à

reprodução após uma nova indução hormonal em um mesmo período reprodutivo, tais como observado para fêmeas de *C. macropomum* [79]. Neste sentido, talvez o controle de alguns fatores ambientais no laboratório permita obter mais reproduções ao longo do ano nas diferentes espécies reofílicas. Este cenário ganha ainda mais importância em programas de melhoramento genético de peixes, pois seria possível maximizar a utilização de fêmeas e de machos de alto valor genético (*Estimated Breeding Value* - EBV). Todavia, na ausência de melhoramento genético se torna fundamental a identificação dos peixes com microchip objetivando conhecer o histórico reprodutivo e também auxiliar, juntamente com análise molecular, o direcionamento reprodutivo para evitar cruzamentos endogâmicos, os quais além de diminuir a viabilidade da progênie pode ocasionar redução no desempenho zootécnico desta. Este controle é importante, pois a maximização na utilização de machos e fêmeas na reprodução ocasionará redução no número efetivo de reprodutores.

Um aspecto importante que precisa ser considerado nas espécies reofílicas é que as fêmeas permanecem apenas um determinado período aptas a desova (por migração ou indução hormonal), sendo que após este período se inicia a reabsorção dos oócitos, processo que dura entre três e cinco meses [124]. Dessa forma, estas fêmeas estariam aptas novamente para a reprodução apenas no próximo período reprodutivo. Portanto, para maximização na utilização de fêmeas em um mesmo período é necessário monitoramento do momento reprodutivo destas.

Por fim, a utilização da tecnologia de bioflocos (BFT) tem produzido resultados promissores em peixes. Esta tecnologia pode ser interessante para aplicação na fase de reprodução, considerando principalmente (i) a transformação de compostos nitrogenados tóxicos para peixes em formas não tóxicas, sendo esta transformação realizada por microrganismos presentes nos flocos [125]; e (ii) a presença de agregados microbianos, os quais representam uma fonte contínua de alimento natural para os peixes [126], proporcionando inclusive diminuição na quantidade de ração comercial fornecida, como se pode observar no trabalho de García-Rios e al. [127]. A qualidade nutricional de agregados microbianos presentes na BFT é comparável e/ou superior em relação às rações comerciais em termos de proteína e lipídeos, além de contribuir com outros nutrientes [128]. Estes aspectos têm grande importância considerando que não foram determinadas a exigência nutricional para várias espécies reofílicas na fase de reprodução. Portanto, esta tecnologia associada às questões abordadas anteriormente poderão proporcionar grande impacto na reprodução de peixes reofílicos.

## 7 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos temas abordados no presente capítulo, fica evidente que as técnicas e ferramentas utilizadas para a avaliação de parâmetros reprodutivos em peixes são necessárias para a evolução nesta área, principalmente em se tratando de espécies amazônicas. Muitas tecnologias existentes ainda não são aplicadas no setor produtivo, pois são restritas a laboratórios que procuram compreender como os processos ocorrem a como eles podem ser melhorados. Algumas tecnologias que podem ser utilizadas pelo setor produtivo ainda não são empregadas, e muito se deve pelo baixo profissionalismo verificado em muitas propriedades, o que impede a aplicação em escala. Importante

destacar que novas tecnologias devem ser desenvolvidas para contornar os principais gargalos atualmente observados na reprodução das espécies amazônicas. Por fim, a cadeia produtiva destas espécies deve evoluir em paralelo com outros setores, tais como o melhoramento genético, sistemas de produção, nutrição e sanidade, e assim alcançar uma produção competitiva.

## REFERÊNCIAS


[1] FAO. **The State of world Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action.** Rome: FAO, 2020.

[2] SAMARIN, A. M.; SAMARIN, A. M.; POLICAR, T. **Cellular and molecular changes associated with fish oocyte ageing.** Reviews in Aquaculture**,** v. 11, n. 3, p. 619-630, Aug 2019.

[3] RIESCO, M. F. et al. **Effect of low sperm quality on progeny: a study on zebrafish as model species.** Scientific Reports, v. 9, Aug 1 2019..

[4] ROBLES, V. et al. **Molecular basis of spermatogenesis and sperm quality.** General and Comparative Endocrinology, v. 245, p. 5-9, May 2017.

[5] ______. **Biology of teleost primordial germ cells (PGCs) and spermatogonia: Biotechnological applications.** Aquaculture, v. 472, p. 4-20, Apr 1 2017.

[6] CABRITA, E. et al. **Factors enhancing fish sperm quality and emerging tools for sperm analysis.** Aquaculture, v. 432, p. 389-401, Aug 2014.

[7] DE SIQUEIRA-SILVA, D. H. et al. **Biotechnology applied to fish reproduction: tools for conservation.** Fish Physiology and Biochemistry, v. 44, n. 6, p. 1469-1485, Dec 2018.

[8] YOSHIZAKI, G. et al. **Spermatogonial transplantation in fish: A novel method for the preservation of genetic resources.** Comparative Biochemistry and Physiology D-Genomics & Proteomics, v. 6, n. 1, p. 55-61, Mar 2011.

[9] ARAI, K. **Genetic improvement of aquaculture finfish species by chromosome manipulation techniques in Japan.** Aquaculture, v. 197, n. 1-4, p. 24, 2001.

[10] ZOHAR, Y. et al. **Neuroendocrinology of reproduction in teleost fish.** General and Comparative Endocrinology, v. 165, n. 3, p. 438-455, Feb 2010.

[11] MIGAUD, H.; DAVIE, A.; TAYLOR, J. F. **Current knowledge on the photoneuroendocrine regulation of reproduction in temperate fish species.** Journal of Fish Biology, v. 76, n. 1, p. 27-68, Jan 2010..

[12] LUBZENS, E. et al. **Oogenesis in teleosts: How fish eggs are formed**. General and Comparative Endocrinology, v. 165, n. 3, p. 367-389, 2010.

[13] SCHOLZ, S. et al. **Induction of vitellogenin in vivo and in vitro in the model teleost medaka (*Oryzias latipes*): comparison of gene expression and protein levels**. Marine Environmental Research, v. 57, n. 3, p. 235-244, Apr 2004.

[14] ZOHAR, Y.; MYLONAS, C. C. **Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes.** Aquaculture, v. 197, n. 1-4, p. 99-136, Jun 1 2001.

[15] ZANIBONI FILHO, E.; WEINGARTNER, M. **Técnicas de indução da reprodução de peixes migradores.** Revista Brasileira de Reprodução Animal, v. 31, n. 3, p. 8, 2007.

[16] MYLONAS, C. C.; FOSTIER, A.; ZANUY, S. **Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction.** General and Comparative Endocrinology, v. 165, n. 3, p. 516-534, Feb 2010.

[17] VENTURIERI, R.; BERNARDINO, G. **Hormônios na Reprodução Artificial de Peixes**. Panorama da Aquicultura. Rio de Janeiro: Panorama da Aquicultura. 9**:** 10 p. 1999.

[18] POWELL, J. F. F. et al. **Primary structure of three forms of gonadotropin-releasing hormone (GnRH) from the pacu brain.** Regulatory Peptides, v. 68, n. 3, p. 189-195, Feb 1997.

[19] SOMOZA, G. M. et al. **Immunoreactive GNRH suggesting a 3rd form of GNRH in addition to CLLGNRH and SGNRH in the brain and pituitary-gland of *Prochilodus-lineatus* (Characiformes)**. General and Comparative Endocrinology, v. 94, n. 1, p. 44-52, Apr 1994.

[20] GOMES, C. C.; COSTA, F. G.; BORELLA, M. I. **Distribution of GnRH in the brain of the freshwater teleost *Astyanax altiparanae* (Garutti & Britski, 2000).** Micron, v. 52-53, p. 33-38, Sep-Oct 2013.

[21] CHEHADE, C. et al. **Molecular characterization of different preproGnRHs in *Astyanax altiparanae* (Characiformes): Effects of GnRH on female reproduction.** Molecular Reproduction and Development, v. 87, n. 6, p. 720-734, Jun 2020.

[22] DE JESUS, L. W. O. et al. **Gonadotropin subunits of the characiform *Astyanax altiparanae*: Molecular characterization, spatiotemporal expression and their possible role on female reproductive dysfunction in captivity.** General and Comparative Endocrinology, v. 246, p. 150-163, May 2017.

[23] MOREIRA, R. C. et al. **The involvement of gonadotropins and gonadal steroids in the ovulatory dysfunction of the potamodromous *Salminus hilarii* (Teleostei: Characidae) in captivity.** Fish Physiology and Biochemistry, v. 41, n. 6, p. 1435-1447, Dec 2015.

[24] BORELLA, M. I.; VENTURIERI, R.; MANCERA, J. M. I**mmunocytochemical identification of adenohypophyseal cells in the pirarucu (*Arapaima gigas*), an Amazonian basal teleost.** Fish Physiology and Biochemistry, v. 35, n. 1, p. 3-16, Mar 2009..

[25] FARIA, M. T. et al. **Isolation of the pituitary gonadotrophic alpha-subunit hormone of the giant amazonian fish: pirarucu (*Arapaima gigas*)**. Fish Physiology and Biochemistry, v. 39, n. 3, p. 683-693, Jun 2013.

[26] SEVILHANO, T. et al. **Molecular cloning and characterization of pirarucu (*Arapaima gigas*) follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone beta-subunit cDNAs.** Plos One, v. 12, n. 8, Aug 28 2017.

[27] KURADOMI, R. Y.; FORESTI, F.; BATLOUNI, S. R. **The effects of sGnRHa implants on *Piaractus mesopotamicus* female breeders. An approach addressed to aquaculture.** Aquaculture International, v. 25, n. 6, p. 2259-2273, Dec 2017.

[28] AMARAL, J. S.; VENTURIERI, R. L.; MOREIRA, R. G. **Gonadal steroids and energy availability during ovarian maturation stages of the Amazonian pirarucu *Arapaima gigas* (Teleostei: Osteoglossidae) in the wild. Comparative** Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology, v. 230, p. 106-114, Apr 2019.

[29] BRAMBILA-SOUZA, G. et al. **Thermal manipulation and GnRHa therapy applied to the reproduction of lambari-do-rabo-amarelo, *Astyanax altiparanae* females (Characiformes: Characidae) during the non-breeding season.** General and Comparative Endocrinology, v. 279, p. 120-128, Aug 2019.

[30] CAVALCANTE LOBO, I. K. et al. **Transcriptome of tambaqui *Colossoma macropomum* during gonad differentiation: Different molecular signals leading to sex identity.** Genomics, v. 112, n. 3, p. 2478-2488, May 2020.

[31] GRATACAP, R. L. et al. **Potential of Genome Editing to Improve Aquaculture Breeding and Production.** Trends in Genetics, v. 35, n. 9, p. 672-684, Sep 2019.

[32] EDVARDSEN, R. B. et al. **Targeted Mutagenesis in Atlantic Salmon (*Salmo salar L.*) Using the CRISPR/Cas9 System Induces Complete Knockout Individuals in the F0 Generation.** Plos One, v. 9, n. 9, Sep 25 2014.

[33] WARGELIUS, A. et al. **Dnd knockout ablates germ cells and demonstrates germ cell independent sex differentiation in Atlantic salmon.** Scientific Reports, v. 6, Feb 18 2016.

[34] DATSOMOR, A. K. et al. **CRISPR/Cas9-mediated editing of Delta 5 and Delta 6 desaturases impairs Delta 8-desaturation and docosahexaenoic acid synthesis in Atlantic salmon *(Salmo salar L.)*.** Scientific Reports, v. 9, Nov 15 2019.

[35] YU, H. et al. **Targeted Gene Disruption in Pacific Oyster Based on CRISPR/Cas9 Ribonucleoprotein Complexes.** Marine Biotechnology, v. 21, n. 3, p. 301-309, Jun 2019.

[36] LI, M. et al. **Efficient and Heritable Gene Targeting in Tilapia by CRISPR/Cas9.** Genetics, v. 197, n. 2, p. 591-U219, Jun 2014.

[37] FENG, R. et al. **Retinoic acid homeostasis through aldh1a2 and cyp26a1 mediates meiotic entry in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).** Scientific Reports, v. 5, May 15 2015.

[38] JIANG, D. et al. **CRISPR/Cas9-induced disruption of wt1a and wt1b reveals their different roles in kidney and gonad development in Nile tilapia.** Developmental Biology, v. 428, n. 1, p. 63-73, Aug 1 2017.

[39] AGUIAR, J. D. P. et al. **Tracing individuals and populations of the tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), from Brazilian hatcheries using microsatellite markers.** Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 99, n. 6, p. 2998-3004, Apr 2019.

[40] GOMES, F. et al. **Comparative analysis of the transcriptome of the Amazonian fish species *Colossoma macropomum* (tambaqui) and hybrid tambacu by next generation sequencing.** Plos One, v. 14, n. 2, Feb 25 2019.

[41] MACHADO, A. M. et al. **From the Amazon: A comprehensive liver transcriptome dataset of the teleost fish tambaqui, *Colossoma macropomum*.** Data in Brief, v. 23, Apr 2019.

[42] VASCONCELOS, A. C. N. et al. **Isolation and characterization of a germ cell marker in teleost fish *Colossoma macropomum*.** Gene, v. 683, p. 54-60, Jan 2019.

[43] ______. **The germ cell marker dead end reveals alternatively spliced transcripts with dissimilar expression.** Scientific Reports, v. 9, Feb 2019.

[44] GOMES, F. et al. **Identification and characterization of the expression profile of the microRNAs in the Amazon species *Colossoma macropomum* by next generation sequencing.** Genomics, v. 109, n. 2, p. 67-74, Mar 2017.

[45] CARVALHO, D. C. et al. **Microsatellite markers for the Amazon peacock bass (*Cichla piquiti*).** Molecular Ecology Resources, v. 9, n. 1, p. 239-241, Jan 2009.

[46] AZEVEDO, C. et al. **Ultrastructure and phylogeny of *Glugea arabica n. sp* (Microsporidia), infecting the marine fish *Epinephelus polyphekadion* from the Red Sea.** European Journal of Protistology, v. 52, p. 11-21, Feb 2016.

[47] CASAL, G. et al. **A new microsporidian parasite, *Potaspora morhaphis n. gen., n. sp* (Microsporidia) infecting the Teleostean fish, *Potamorhaphis guianensis* from the River Amazon. Morphological, ultrastructural and molecular characterization.** Parasitology, v. 135, n. 9, p. 1053-1064, Aug 2008.

[48] MATHEWS, P. D. et al. **Morphology and 18S rDNA sequencing of *Henneguya peruviensis n. sp* (Cnidaria: Myxosporea), a parasite of the Amazonian ornamental fish *Hyphessobrycon loretoensis* from Peru: A myxosporean dispersal approach.** Acta Tropica, v. 187, p. 207-213, Nov 2018.

[49] ALEJANDRO GARCIA, D. et al. **Molecular systematics of the freshwater stingrays (Myliobatiformes: Potamotrygonidae) of the Amazon, Orinoco, Magdalena, Esequibo, Caribbean, and Maracaibo basins (Colombia - Venezuela): evidence from three mitochondrial genes.** Mitochondrial DNA Part A, v. 27, n. 6, p. 4479-4491, 2016.

[50] ARAI, K.; FUJIMOTO, T. Chromosome manipulation techniques and applications to aquaculture. In: WANG, H.-P.;PIEFFER, F.*, et al* (Ed.). **Sex Control in Aquaculture.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. cap. 06, p.137-142.

[51] ADAMOV, N. S. D. et al. **Triploid Induction in the Yellowtail Tetra, *Astyanax altiparanae*, Using Temperature Shock: Tools for Conservation and Aquaculture.** Journal of the World Aquaculture Society, v. 48, n. 5, p. 741-750, Oct 2017..

[52] VASCONCELOS, L. M. D. **Manipulação cromossômica em curimabtã-pacu *Prochilodus argentus* (Spix & Agassis, 1829): Indução à triploidia**. 2017. 62 (Dissertação). Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Universidade Federal rural de Pernambuco - UFRPE, Recife.

[53] DA SILVA, F. S. D. et al. **Triploidy induction by cold shock in the South American catfish, *Rhamdia quelen* (Silurifonnes) (Quoy & Gaimard, 1824).** Aquaculture, v. 272, p. S110-S114, 2007..

[54] GARCIA, S. et al. **Induction of triploidy in *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Heptapteridae) by double-temperature shock.** Latin American Journal of Aquatic Research, v. 45, n. 1, p. 209-212, Mar 2017.

[55] YASUI, G. S. et al. **Triploidization in the streaked prochilod *Prochilodus lineatus* inferred by flow cytometry, blood smears and karyological approaches.** Journal of Applied Ichthyology, v. 36, n. 3, p. 339-344, Jun 2020.

[56] FORESTI, F.; OLIVEIRA, C.; CARVALHO, E. D. **Ploydy evaluation in the pacu fish, *Piaractus mesopotamicus* (Pisces, Characiformes): Techniques and comments.** Revista Brasileira de Biologia, v. 54, p. 7, 1994.

[57] SATO, L. S. et al. **Triploidy in tambaqui *Colossoma macropomum* identified by chromosomes of fish larvae.** Journal of Aquaculture & Marine Biology, v. 9, n. 3, p. 5, 2020.

[58] DO NASCIMENTO, N. F. et al. **Growth, fatty acid composition, and reproductive parameters of diploid and triploid yellowtail tetra *Astyanax altiparanae.*** Aquaculture, v. 471, p. 163-171, Mar 2017.

[59] FRACALOSSI, D. M. et al. **Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil.** Acta Scientiarum. Animal Sciences, v. 26, n. 3, p. 8, 2004.

[60] ALMEIDA, F. L. et al. **Early puberty of farmed tambaqui (*Colossoma macropomum*): Possible influence of male sexual maturation on harvest weight.** Aquaculture, v. 452, p. 224-232, Feb 2016.

[61] GHIRALDELLI, L. et al. **Gonadal development of jundia, *Rhamdia quelen* (Teleostei, Siluriformes), in earthen ponds in southern Brazil.** Acta Scientiarum Biological Sciences, v. 29, n. 4, p. 349-356, Oct-Dec 2007.

[62] AMARAL JUNIOR, H.; NUNES, M. F. S.; GARCIA, S. **Analysis of different dosages of hormone in the diet, to define a protocol of feminization of Jundia *Rhamdia quelen*.** Revista Electrónica de Veterinaria, v. IX, n. 12, p. 7, 2008.

[63] REIS, V. R.; ALMEIDA, F. L. **Effect of 17 beta-oestradiol on the sex ratio of tambaqui, *Colossoma macropomum.*** Aquaculture Research, v. 50, n. 1, p. 154-161, Jan 2019.

[64] DE SIQUEIRA-SILVA, D. H. et al. **Preliminary study on testicular germ cell isolationand transplantation in an endangered endemic species *Brycon orbignyanus*.** Fish Physiology and Biochemistry, v. on line, p. 10, 01 Apr 2019.

[65] LIN, S. et al. **Production of germ-line chimeras in Zebrafish by cell transplants from generically pigmented to albino embryos.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 89, n. 10, p. 4519-4523, May 1992.

[66] PSENICKA, M. et al. **Isolation and transplantation of sturgeon early-stage germ cells.** Theriogenology, v. 83, n. 6, p. 1085-1092, Apr 1 2015.

[67] XIE, X. et al. **Optimization of in vitro culture conditions of sturgeon germ cells for purpose of surrogate production.** Animals, v. 9, n. 3, Mar 21 2019.

[68] YE, H. et al. **Establishment of intraperitoneal germ cell transplantation for critically endangered *Chinese sturgeon* Acipenser sinensis.** Theriogenology, v. 94, p. 37-47, May 2017.

[69] BAR, I. et al. **Assessment of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) as a surrogate host for the production of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) seed via spermatogonial germ cell transplantation**. Reproduction Fertility and Development, v. 28, n. 12, p. 2051-2064, 2016.

[70] KAWAMURA, W. et al. **Suitability of hybrid mackerel (*Scomber australasicus* x *S. japonicus*) with germ cell-less sterile gonads as a recipient for transplantation of bluefin tuna germ cells.** General and Comparative Endocrinology, v. 295, p. 10, 02 June 2020.

[71] SILVA, M. A. et al. **Successful xenogeneic germ cell transplantation from Jundia catfish (*Rhamdia quelen*) into adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) testes.** General and Comparative Endocrinology, v. 230, p. 48-56, May 1 2016.

[72] LACERDA, S. et al. **A New and Fast Technique to Generate Offspring after Germ Cells Transplantation in Adult Fish: The Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Model.** Plos One, v. 5, n. 5, 2010.

[73] VAZZOLER, A. E. A. D. M. **Biologia de reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá: EDUEM**:** 196 p. 1996.

[74] GANECO, L. N.; FRANCESCHINI-VICENTINI, I. B.; NAKAGHI, L. S. O. **Structural analysis of fertilization in the fish *Brycon orbignyanus*.** Zygote**,** v. 17, n. 2, p. 93-99, May 2009.

[75] SANCHES, E. A. et al. **Time and temperature on the storage of oocytes from jundia catfish, *Rhamdia quelen***. Aquaculture**,** v. 319, n. 3-4, p. 453-458, Oct 1 2011.

[76] ROMAGOSA, E. Biologia reprodutiva e fisiologia de peixes em confinamento: o cachara *Pseudoplatystoma fasciatum* como modelo. In: CYRINO, J. E. P. e URBINATI, E. C. (Ed.). **Tópicos Especiais em Biologia Aquática e Aqüicultura**. Jaboticabal: AQUABIO, 2006. p.108-116.

[77] BOBE, J.; LABBE, C. **Egg and sperm quality in fish**. General and Comparative Endocrinology, v. 165, n. 3, p. 535-548, 2010.

[78] VIVEIROS, A. T. M. et al. **Gamete quality of streaked prochilod *Prochilodus lineatus* (Characiformes) after GnRHa and dopamine antagonist treatment.** Zygote, v. 23, n. 2, p. 212-221, Apr 2015.

[79] PIRES, L. B. et al. ***Colossoma macropomum* females can reproduce more than once in the same reproductive period.** Animal Reproduction Science, v. 196, p. 138-142, Sep 2018.

[80] SANCHES, E. A. et al. **Storage of *Steindachneridion parahybae* oocytes at different temperatures.** Animal Reproduction Science, v. 151, n. 3-4, p. 262-268, DEC 2014.

[81] ______. **Inseminating dose and water volume applied to the artificial fertilization of *Steindachneridion parahybae* (Steindachner, 1877) (Siluriformes: Pimelodidae): Brazilian endangered fish.** Neotropical Ichthyology, v. 14, n. 1, 2016.

[82] OKAWARA, R. Y. et al. **Ovulation and initial rearing of *Steindachneridion parahybae* (Siluriformes: Pimelodidae) larvae from different accumulated thermal units.** Ichthyological Research, v. 62, n. 4, p. 495-503, Nov 2015.

[83] GODOY, L. C. et al. **A study on the vitrification of stage III zebrafish (*Danio rerio)* ovarian follicles**. Cryobiology**,** v. 67, n. 3, p. 347-354, Dec 2013.

[84] LOPES, T. D. S. et al. **Surubim-do-Paraiba oocytes viability after being exposed to different cryoprotectants.** Ciencia Rural, v. 48, n. 6, 2018.

[85] SANCHES, E. A. et al. **Utilização de azul de trypan para a estimativa a viabilidade de ovócitos em *Steindachneridion parahybae***. V Congresso da Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática - AQUACIÊNCIA. Palmas: Aquabio, 2012. p.

[86] FRANCA, T. S. et al. **Impact of activation solutions on fresh and frozen-thawed sperm motility and fertilization success for two species of migratory freshwater fishes**. Theriogenology**,** v. 149, p. 6-15, Jun 2020.

[87] COSSON, J. **Frenetic activation of fish spermatozoa flagella entails short-term motility, portending their precocious decadence.** Journal of Fish Biology**,** v. 76, n. 1, p. 240-279, 2010.

[88] CALDAS, J. S.; GODOY, L. **Sperm characterization of the endangered Amazonian fish *Hypancistrus zebra*: Basic knowledge for reproduction and conservation strategies.** Animal Reproduction Science**,** v. 204, p. 117-124, May 2019.

[89] KURADOMI, R. Y. et al. **Effects of re-stripping on the seminal characteristics of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) during the breeding season.** General and Comparative Endocrinology**,** v. 225, p. 162-173, Jan 2016.

[90] DE MELLO, F. et al. **The effect of cryoprotectant agents on DNA methylation patterns and progeny development in the spermatozoa of *Colossoma macropomum***. General and Comparative Endocrinology**,** v. 245, p. 94-101, May 2017.

[91] PEREIRA, F. A. et al. **Reduced glutathione and atp in the seminal cryopreservation of tambaqui.** Cryoletters**,** v. 39, n. 6, p. 371-379, Nov 2018.

[92] DA COSTA, B. B. et al. **Effects of cysteine supplementation on the quality of cryopreserved sperm of South American silver catfis**h. Aquaculture Research**,** v. 51, n. 2, Feb 2020.

[93] PASTRANA, Y. M. et al. **A fructose-based extender protects *Colossoma macropomum* spermatozoa against chilling injuries**. Aquaculture Research**,** v. 50, n. 2, p. 521-528, Feb 2019.

[94] SANCHES, E. A. et al. **Sperm concentration estimate of fish semen using spermatocrit method**. Revista Brasileira De Zootecnia, v. 40, n. 6, p. 1163-1167, Jun 2011.

[95] LEITE, J. S. et al. **Seasonal variation in seminal quality in brazilian bocachico (Teleostei, Characiformes)**. Revista Caatinga**,** v. 31, n. 3, p. 759-766, Jul-Sep 2018.

[96] BASHIYO-SILVA, C. et al. **Hormonal induction of *Brycon cephalus* (Characiformes, Characidae) to spermiation using D-ala6, pro9net-mGnRH + metoclopramide.** Zygote**,** v. 24, n. 3, p. 319-325, Jun 2016.

[97] WILSON-LEEDY, J. G.; INGERMANN, R. L. **Development of a novel CASA system based on open source software for characterization of zebrafish sperm motility parameters.** Theriogenology**,** v. 67, n. 3, p. 661-672, 2007..

[98] SANCHES, E. A. et al. **Sperm motility parameters for *Steindachneridion parahybae* based on open-source software.** Journal of Applied Ichthyology, v. 29, p. 1114-1122, 2013.

[99] PINHEIRO, J. P. S. et al. **Aluminum, at an environmental concentration, associated with acidic pH and high water temperature, causes impairment of sperm quality in the freshwater teleost *Astyanax altiparanae* (Teleostei: Characidae).** Environmental Pollution**,** v. 262, Jul 2020.

[100] PIRES, L. B. et al. **Sperm quality of *Colossoma macropomum* after room-temperature and cold storage**. Journal of Applied Ichthyology**,** v. 35, n. 3, p. 747-753, Jun 2019.

[101] ______. **Semen characteristics of *Colossoma macropomum* from three successive sample collections in the same reproductive cycle**. Aquaculture Research**,** v. 48, n. 9, p. 5104-5110, Sep 2017.

[102] BASHIYO-SILVA, C. **Indução a espermiação e criopreservação do sêmen de B*rycon cephalus (*Gunther, 1869) (Teleostei: Characidae)**. 2014. 75 (Dissertação). Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Animal, São Paulo State University - Unesp

[103] GHELLER, S. M. M. et al. **Use of trehalose in the semen cryopreservation of Amazonian catfish *Leiarius marmoratu*s**. Cryobiology**,** v. 87, p. 74-77, Apr 2019.

[104] BOZKURT, Y. Introductory chapter: Application fields of cryopreservation biotechnology. In: BOZKURT, Y. (Ed.). **Cryopreservation Biotechnology in Biomedical and Biological Sciences**. London: IntechOpen Publishing, 2018. cap. 01, p.1-4.

[105] POLGE, C.; SMITH, A. U.; PARKES, A. S. **Revival of spermatozoa after vitrification and dehydration at low temperatures**. Nature**,** v. 164, n. 4172, p. 666-666, 1949.

[106] FARIAS, J. O. et al. **Avaliação "in vitro" e "in vivo" do sêmen de Tambaqui (C*olossoma macropomum)* conservado a temperatura ambiente e criopreservado em água de coco.** Revista Científica de Produção Animal**,** v. 1, n. 1, p. 44-58, 1999.

[107] VARELA, A. S. et al. **Methods of cryopreservation of Tambaqui semen, Colossoma macropomum.** Animal Reproduction Science**,** v. 157, p. 71-77, Jun 2015.

[108] CARNEIRO, P. C. F. et al. **Cryopreservation of tambaqui (*Colossoma macropomum*) semen: extenders, cryoprotectants, dilution ratios and freezing methods**. Cryoletters**,** v. 33, n. 5, p. 385-393, Sep-Oct 2012.

[109] LENZ, D. R. et al. **Avaliação de diferentes crioprotetores e tempos de descongelamento de sêmen de tambaqui C*olossoma macropomun*.** Revista Brasileira de Reprodução Anima**l,** v. 42, n. 1, p. 36-41, 2018.

[110] FRESNEDA, A. et al. **Espermiación inducida y crioconservación de semen de Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*).** Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**,** v. 17, p. 46-52, 2004.

[111] RAMIREZ-MERLANO, J. A. et al. **Cryopreservation effects on the sperm quality of cachama blanca *Piaractus brachypomus* (Cuvier 1818)**. Aquaculture Research**,** v. 42, n. 6, p. 738-745, May 2011.

[112] NASCIMENTO, A. F. et al. **Out-of-season sperm cryopreserved in different media of the Amazonian freshwater fish pirapitinga (*Piaractus brachypomus*)**. Animal Reproduction Science**,** v. 118, n. 2-4, p. 324-329, 2010..

[113] CRUZ CASALLAS, P. E.; MEDINA ROBLES, V. M.; VELASCO SANTAMARÍA, Y. M. **Evaluación de diferentes crioprotectores para la crioconservación de espermatozoides de yamú (*Brycon amazonicus*).** Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**,** v. 19, n. 2, p. 152-159, 2006.

[114] CAROLSFELD, J. et al. **Cryopreservation of sperm in Brazilian migratory fish conservation.** Journal of Fish Biology**,** v. 63, n. 2, p. 472-489, 2003.

[115] PIZÓN ARCINIEGAS, S. M.; MOJICA RODRÍGUEZ, J. E.; CRUZ CASALLAS, P. E. **Ensayos preliminares sobre crioconservación de semen de bagre rayado (P*seudoplatystoma fasciatum* Linnaeus, 1766)**. Orinoquia**,** v. 9, n. 2, p. 28-37, 2005.

[116] BORGES, A. M. et al. **Ultrastructure and sperm cryopreservation of the amazon catfish (*Leiarius marmoratus*) in captivity.** Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia**,** v. 72, n. 1, p. 253-262, Jan-Feb 2020.

[117] WOYNAROVICH, E.; HORVÁTH, L. **A propagação artificial de peixes de águas tropicais: manual de extensão**. Brasilia: FAO/CODEVASF/CNPq, 1983. 225p.

[118] ROMAGOSA, E. Avanços na reprodução de peixes migradores. In: CYRINO, J. E. P.;FURUYA, W. M.*, et al* (Ed.). **Tópicos Especiais em Biologia Aquática e Aquicultura III**. Jaboticabal: AQUABIO, 2008. p.1-16.

[119] CRISCUOLO-URBINATI, E. et al. **The administration of exogenous prostaglandin may improve ovulation in pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**. Theriogenology**,** v. 78, n. 9, p. 2087-2094, Dec 2012.

[120] SOUZA, F. N. et al. **Ovopel((R)) and carp pituitary extract for induction of reproduction in *Colossoma macropomum* females.** Animal Reproduction Science, v. 195, p. 53-57, Aug 2018.

[121] LEITE, L. V. et al. **Determination of insemination dose and embryonic development in the artificial fertilization of tambaqui (*Colossoma macropomum*).** Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia, v. 65, n. 2, p. 421-429, Apr 2013.

[122] POVH, J. A. et al. **Microsatellite analysis of pacu broodstocks used in the stocking program of Paranapanema River, Brazil**. Scientia Agricola, v. 68, n. 3, p. 308-313, May-Jun 2011.

[123] HARVEY, B.; CAROLSFELD; J. **Induced breeding in tropical fish culture**. Ottawa: IDRC, 1993. 144

[124] BALDISSEROTTO, B.; CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C. **Biologia e Fisiologia de Peixes Neotropicais de Água doce**. Jaboticabal: Funep, 2014.

[125] EMERENCIANO, M. G. C. et al. Biofloc technology (BFT): A tool for water quality management in aquaculture. In: HLANGANANI, T. (Ed.). **Water Quality**. London: InTech, 2017. p.91-109.

[126] BECERRIL-CORTÉS, D. et al. **Nutritional importance for aquaculture and ecological function of microorganisms that make up Biofloc, a review**. International Journal of Aquatic Science, v. 8, n. 2, p. 69-77, 2017.

[127] GARCIA-RIOS, L. et al. **Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial application**s. Aquaculture, v. 502, p. 26-31, Mar 15 2019.

[128] CRAB, R. et al. **Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges**. Aquaculture, v. 356, p. 351-356, Aug 1 2012.

# CAPÍTULO 16

# GRANDES PEIXES DA AMAZÔNIA: UM ESTUDO SOBRE A REPRODUÇÃO DAS ESPÉCIES DE GRANDE PORTE COM POTENCIAL PARA AQUICULTURA

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Lucas Simon Torati**
EMBRAPA Pesca e Aquicultura
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/6426545688868390

**Júlia Trugilio Lopes**
EMBRAPA Pesca e Aquicultura
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/5623157036155829

**Jhon Edison Jimenez-Rojas**
EMBRAPA Pesca e Aquicultura
Palmas – Tocantins
Link para o Currículo Lattes: http://lattes.cnpq.br/2126115042550305

**Luciana Nakaghi Ganeco-Kirschnik**
EMBRAPA Pesca e Aquicultura
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/3926695033101406

**RESUMO:** O bioma Amazônico possui peixes de grande porte com potencial para piscicultura, como: pirarucu *Arapaima gigas*, piraíba *Brachyplatystoma filamentosum*, jaú *Zungaro zungaro* e pirarara *Phractocephalus hemioliopterus*. Entretanto, a falta de conhecimento sobre a biologia reprodutiva limita o desenvolvimento e aplicação de tecnologias para a produção de formas jovens. O estado da arte sobre os principais tópicos em reprodução para essas quatro espécies foi pesquisado. O pirarucu apresenta a maior disponibilidade de informações, embora ainda existam lacunas temáticas e tecnológicas. Para as demais espécies, existem relatos sobre hábitos migratórios associados à reprodução. Estudos mostraram que seus períodos reprodutivos estão associados aos ritmos de cheias dos rios, sendo o pirarucu a única espécie com informações sobre o período reprodutivo em cativeiro. As quatro espécies apresentam dados sobre primeira maturação gonadal na natureza, mas dados sobre desenvolvimento gonadal e comportamento reprodutivo são incompletos para a piraíba, a pirarara e jaú, se comparados ao pirarucu. Existem estudos sobre diversidade genética e estrutura populacional para populações de pirarucu das diversas bacias onde a espécie ocorre, dados limitados para a piraíba e uma lacuna de informações para as demais espécies. Todas têm seus cariótipos (2n=56) caracterizados, sem dimorfismos sexuais evidentes. Existem marcadores moleculares identificados para pirarucu, pirarara e jaú, entretanto apenas o genoma do pirarucu está sequenciado. Informações sobre métodos de obtenção de formas jovens em cativeiro são escassas para todas as espécies. Para o pirarucu existem ferramentas para identificação sexual e avaliação da maturação gonadal de fêmeas, além de protocolos de reprodução a serem otimizados. Não existem protocolos ou estudos sobre a conservação de gametas e embriões para nenhuma das espécies revisadas. Este estudo oferece um panorama sobre o conhecimento existente na biologia reprodutiva destas espécies e sobre o nível tecnológico disponível para sua propagação em cativeiro, facilitando o direcionamento de novas rotas de pesquisa.

**PALAVRAS-CHAVE**: Jaú, piraíba, pirarara, pirarucu.

# BIG AMAZON FISH: A STUDY ON THE REPRODUCTION OF THE LARGE SPECIES WITH POTENTIAL TO AQUACULTURE

**ABSTRACT:** The Amazon biome has large-sized fishes with potential for pisciculture, such as: pirarucu *Arapaima gigas*, piraíba *Brachyplatystoma filamentosum*, jaú *Zungaro zungaro* and pirarara *Phractocephalus hemioliopterus*. However, lack of knowledge on their reproductive biology limits the development and application of technologies for seed production. The state of the art on the main breeding topics for these species have been researched. Pirarucu has a higher availability of literature, although thematic and technological gaps remain. For the other species, there are reports on migratory habits associated with reproduction. Studies have shown that their reproductive periods are associated with the rhythms of river floods, with the pirarucu being the only species having this information for captive populations. There is information on the first gonadal maturation in nature for the four species, but data on gonadal development and reproductive behaviour is incomplete for piraíba, pirarara and jaú, if compared to pirarucu. There are studies on genetic diversity and population structure for pirarucu populations in the different basins where it occurs, limited data for the piraíba and a gap of information for the other species. All of them have their karyotypes (2n = 56) characterized, without evident sexual dimorphisms. There are molecular markers identified for pirarucu, pirarara and jaú, however only the pirarucu genome has been sequenced. Information on methods for obtaining young forms in captivity is scarce for all species. For pirarucu there are tools for sexual identification and evaluation of gonadal maturity in females, and its reproduction protocols needs optimization. There are no protocols or studies on the conservation of gametes and embryos for any of the reviewed species. This study provides an overview of the existing knowledge in the reproductive biology of these species and the technological level available for their propagation in captivity, facilitating the direction of new research routes.

**KEYWORDS:** Jaú, piraíba, pirarara, pirarucu.

## 1 | INTRODUÇÃO

A diversidade de peixes Amazônicos fascina acadêmicos e entusiastas da ictiologia no mundo todo e neste contexto os peixes que atingem um tamanho considerável ocupam uma posição destacada. Estes peixes, também despertam o interesse da aquicultura, devido a características de interesse zootécnico e apreço pela sua carne em mercados locais e grandes centros consumidores. Na Amazônia, existem quatro espécies de grande porte que merecem atenção como potenciais novas espécies para a piscicultura dos países que compartilham a bacia do rio Amazonas.

A primeira espécie é o emblemático pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), peixe pulmonado da família Osteoglossidea que pode alcançar 2,5 m de Comprimento Total (CT) e atingir 250 kg (NELSON; GRANDE; WILSON, 2016). O pirarucu ocorre nas bacias do Amazonas, Tocantins-Araguaia e Essequibo (CASTELLO; STEWART, 2010). Juvenis de pirarucu podem atingir 7-11 kg em um ano, sendo bem adaptados a diferentes sistemas de produção (BOCANEGRA; TELLO; CHAVEZ; RODRIGUEZ *et al.*, 2004; OLIVEIRA; PINHEIRO; OLIVEIRA; SILVA JR. *et al.*, 2012). Entretanto, o controle da sua reprodução em cativeiro é ainda um problema. As outras três espécies de grande porte são os bagres da família Pimelodidea. Dentre estas, está o segundo maior peixe amazônico: a piraíba *Brachyplatystoma filamentosum* (Lichtenstein, 1819), que pode alcançar 2,8 m de

CT e atingir até 150 kg (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA *et al.*, 2000; PETRERE JR.; BARTHEM; CÓRDOBA; GÓMEZ, 2004). A piraíba ocorre nas bacias do Amazonas, Tocantins-Araguaia e Orinoco (LUNDBERG; LITTMANN, 2003). Sua carne é apreciada pelo sabor único e ausência de espinhos intermusculares, características que a tornam excelente candidata à piscicultura (SANTOS; FERREIRA; ZUANON, 2009; VAN DAMME; CARVAJAL-VALLEJOS; CARPIO, 2011). Em seguida, a pirarara *Phractocephalus hemioliopterus* (Bloch & Schneider, 1801), peixe que pode alcançar 1,20 m de CT e atingir 80 kg (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA *et al.*, 2000; VAN DAMME; CARVAJAL-VALLEJOS; CARPIO, 2011). A pirarara ocorre nas bacias dos rios Amazonas, Orinoco e Essequibo (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA *et al.*, 2000; GALVIS; MOJICA; DUQUE; CASTELLANOS *et al.*, 2006; LUNDBERG; AGUILERA, 2003), sendo esta razoavelmente difundida em pisciculturas pelo Brasil, apesar de ter sua reprodução em cativeiro bastante limitada (CASIMIRO; GARCIA; VIDOTTO-MAGNONI; BRITTON *et al.*, 2018; SUPLICY, 2007). Por último, elencamos o jaú *Zungaro zungaro* (Humboldt, 1821), espécie que alcança 1,40 m de CT e atinge 150 kg, ocorre nas bacias dos rios Amazonas e Orinoco (LUNDBERG; LITTMANN, 2003; VAN DAMME; CARVAJAL-VALLEJOS; CARPIO, 2011), sendo também muito apreciado na pesca esportiva e na culinária.

Atualmente, a produção em escala destas quatro espécies é limitada (*e.g.* pirarucu) ou mesmo nula (*e.g.* piraíba, jaú e pirarara). Embora seus hábitos alimentícios piscívoros/onívoros sejam uma vantagem para a indústria de alimentos balanceados, superar o desafio de contar com uma dieta artificial específica para estas espécies será um fator a ser considerado. Ainda assim, o grande gargalo produtivo reside na falta de controle da produção de formas jovens em cativeiro. Neste sentido, o controle reprodutivo permitiria não somente contribuir para redução da pressão sobre os estoques naturais, problema reportado para maioria delas (CAVOLE; ARANTES; CASTELLO, 2015; PETRERE JR.; BARTHEM; CÓRDOBA; GÓMEZ, 2004), mas também viabilizaria o cultivo dessas espécies pela piscicultura. Em processos de domesticação, informações sobre genética e reprodução são cruciais para o desenvolvimento de tecnologias voltadas à produção das formas jovens. Nesse sentido, o objetivo deste capítulo é revisar a literatura científica sobre os principais tópicos em reprodução para esses quatro maiores peixes amazônicos.

## 2 | METODOLOGIA DE ESTUDO

Os tópicos considerados de maior relevância na reprodução dos peixes foram definidos, e perguntas objetivas foram estruturadas no intuito de avaliar o nível de conhecimento existente por tópico e por espécie (Tabela 1). Após uma busca extensiva por livros, comunicados técnicos, mas preferencialmente por artigos indexados e revisados por pares (*peer reviewed*), publicados a qualquer data, as perguntas foram então acessadas. Para cada pergunta atribuiu-se a seguinte pontuação: 0 - ausência completa de informações, 1 - dados incompletos ou protocolos que precisam de otimização e 2 - dados completos ou existência de protocolos estabelecidos. Neste último caso (2), considerou-se a existência de informações para ambos os sexos, para populações naturais e de cativeiro, e/ou para todas as bacias hidrográficas onde a espécie ocorre. Os resultados compilados

são apresentados na forma de um gráfico radar, que permite uma visão comparativa do estado da arte sobre o conhecimento da genética, reprodução e necessidades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para reprodução dessas espécies.

| | HISTÓRIA NATURAL E BIOLOGIA REPRODUTIVA |
|---|---|
| **1. Reprodução em ambiente natural** | Existem dados sobre **comportamento migratório** na espécie? |
| | Existem informações sobre idade e/ou tamanho da **primeira maturação sexual**? |
| | Existem dados sobre **período reprodutivo**? |
| **2. Desenvolvimento gonadal** | Existe(m) estudo(s) sobre a **gametogênese**? |
| | Existe(m) estudo(s) sobre a **ciclo gonadal**? |
| | Existem dados sobre a **fecundidade**? |
| **3. Comportamento reprodutivo** | Existem informações sobre o **comportamento reprodutivo** (cópula, substrato, ninhos, comportamento etc.) na espécie? |
| | Sabe-se qual é o **tipo de desova** (total, parcial etc.) e fertilização na espécie? |
| | **GENÉTICA** |
| **4. Diversidade e estrutura genética** | Existem dados sobre a **diversidade genética** e a **estrutura genética** da espécie considerando diferentes populações e bacias hidrográficas? |
| | Existem informações sobre casos de **hibridação** (proposital ou acidental) e/ou trabalhos com **edição gênica** (CRISPR) na espécie? |
| **5. Citogenética e genômica** | Existem dados sobre número e tipos de cromossomos (**cariótipo**) na espécie? |
| | Existe um **genoma de referência** ou dados de **sequenciamento genômico** para a espécie? |
| | Existe um **genoma funcional** para a espécie? |
| | **CONTROLE REPRODUTIVO EM CATIVEIRO** |
| **6. Identificação e maturidade sexual** | Existem ferramentas (moleculares, dimorfismos etc.) que permitem a **identificação sexual** dos juvenis e reprodutores? |
| | Existem dados sobre a **maturação sexual** de machos e fêmeas em cativeiro? |
| | Existe(m) ferramenta(s) (ex. ultrassom, canulação, morfologia) para **seleção de reprodutores** maduros machos e fêmeas em cativeiro? |
| **7. Obtenção de formas jovens** | Existe(m) protocolo(s)para **obtenção de desova e/ou espermiação** em cativeiro? |
| | Existe(m) protocolo(s) ou registro de **fertilização artificial/assistida**? |
| | Existe(m) protocolo(s) ou registro de **larvicultura**? |
| | **CONSERVAÇÃO DE GAMETAS** |
| **8. Conservação de gametas e embriões** | Existem dados sobre a **características espermáticas** da espécie? |
| | Existe(m) protocolo(s)/registro(s) sobre a **conservação de sêmen**? |
| | Existe(m) protocolo(s)/registro(s) de **conservação de ovócitos**? |
| | Existe(m) protocolo(s)/registro(s) de **conservação de embriões**? |

Tabela 1. Perguntas utilizadas para mensurar o conhecimento existente sobre a biologia geral, genética e reprodução de *Arapaima gigas*, *Brachyplatystoma filamentosum*, *Phractocephalus hemioliopterus* e *Zungaro zungaro*. Para cada pergunta atribuiu-se os seguintes pontos: 0 - ausência completa de informações na literatura, 1 - dados incompletos ou protocolos que

precisam de otimização e 2 - dados completos ou existência de protocolos estabelecidos. Neste último caso, considerou-se a existência de informações para ambos os sexos, para populações naturais e de cativeiro, e para todas as bacias hidrográficas onde a espécie ocorre. Com base na literatura existente, os resultados da avaliação dessas perguntas estão descritos comparativamente na Figura 1.

## 3 I DISCUSSÃO

O resultado da avaliação das perguntas da Tabela 1 são apresentados na Figura 1, elaborado em formato de gráfico radar, mostrando o nível de conhecimento existente sobre a biologia reprodutiva, genética, e tecnologias de reprodução disponíveis para A) *A. gigas*, B) *B. filamentosum*, C) *P. hemioliopterus* e D) *Z. zungaro*. Em seguida, cada tópico abordado é apresentado e discutido.

Legenda
1- Comportamento migratório
2- Primeira maturação sexual
3- Período reprodutivo
4- Gametogênese
5- Ciclo gonadal
6- Fecundidade
7- Comportamento reprodutivo
8- Tipo de desova
9- Diversidade genética
10- Hibridação e edição gênica
11- Cariótipo
12- Genoma de referência
13- Genoma funcional
14- Identificação sexual
15- Maturação sexual
16- Seleção de reprodutores
17- Obtenção de desova e/ou espermiação
18- Fertilização artificial/assistida
19- Larvicultura
20- Características espermáticas
21- Conservação de sêmen
22- Conservação de ovócitos
23- Conservação de embriões

Figura 1. Gráfico radar mostrando o nível de conhecimento existente sobre a biologia geral e reprodutiva de A) *Arapaima gigas*, B) *Brachyplatystoma filamentosum*, C) *Phractocephalus hemioliopterus* e D) *Zungaro zungaro*. Perguntas utilizadas na obtenção dos dados na Tabela 1.

### 3.1 Reprodução em ambiente natural

O conhecimento sobre as características reprodutivas de uma espécie em ambiente natural são fundamentais para viabilizar tecnologias visando a domesticação (JAKOBSEN; FOGARTY; MEGREY; MOKSNESS, 2016). Nesse sentido, alguns trabalhos reportaram o **comportamento migratório** das quatro espécies revisadas. Arapaima gigas é uma espécie considerada sedentária, havendo uma migração lateral típica no início da época chuvosa, quando os adultos migram através dos canais laterais da várzea para áreas inundadas, local onde ocorrem as reproduções ainda na cheia (ARARIPE; RÊGO; QUEIROZ; SAMPAIO et al., 2013; CASTELLO, 2008a; GURDAK; STEWART; CASTELLO; ARANTES, 2019).

Recentemente, um estudo utilizando telemetria ofereceu novos dados sobre territorialismo da espécie em ambiente lacustre no Perú (NÚÑEZ; DUPONCHELLE; COTRINA-DORIA; RENNO et al., 2015). Já em relação aos pimelodídeos B. filamentosum e P. hemioliopterus e Z. zungaro, são reportadas migrações de 100 a 1.500 quilômetros (LIMA; MAKRAKIS; SILVA; AZEVEDO et al., 2013; PETRERE JR.; BARTHEM; CÓRDOBA; GÓMEZ, 2004; VAN DAMME; CARVAJAL-VALLEJOS; CARPIO, 2011). Reporta-se que a migração de B. filamentosum está intimamente ligada aos pulsos de inundação do bioma Amazônico (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA et al., 2000). Para populações de P. hemioliopterus, um recente estudo usando telemetria mostrou que o pico migratório no rio Xingu ocorre logo no final da estação seca e durante a cheia (Novembro-Fevereiro) (HAHN; MARTINS; NUNES; DA CÂMARA et al., 2019). Também existem registros de que a migração de P. hemioliopterus ocorra através das zonas mais profundas e laterais dos rios (VAN DAMME; CARVAJAL-VALLEJOS; CARPIO, 2011). Tanto para B. filamentosum quanto Z. zungaro, as cabeceiras dos rios são descritas como o local de reprodução, sendo os ovos e larvas carreados pela correnteza até que as formas jovens cheguem aos estuários, considerados o berçário dessas espécies (BARTHEM; RIBEIRO; PETRERE JR., 1991; OVIEDO; VILLA-NAVARRO; LASSO; CASTRO et al., 2013). Além disso, relata-se que o comportamento migratório de B. filamentosum pode estar também relacionado ao seu hábito predatório (BARTHEM; RIBEIRO; PETRERE JR., 1991; PETRERE JR.; BARTHEM; CÓRDOBA; GÓMEZ, 2004; SANTOS; FERREIRA; ZUANON, 2009). Similarmente, isso foi reportado para o Z. zungaro na bacia do Orinoco, onde uma migração reprodutiva ocorre de março a junho, e outra alimentar de setembro a dezembro (LASSO; CÓRDOBA; JIMÉNEZ-SEGURA; RAMÍREZ-GIL et al., 2011; RAMÍREZ-GIL, 2016). Por serem espécies migratórias, a construção de barragens hidrelétricas geralmente impacta o comportamento reprodutivo desses bagres, com esperada redução na diversidade genética das populações que se tornam isoladas.

A idade da **primeira maturação sexual** é outro fator chave para manutenção de reprodutores em cativeiro e planejamento de uma piscicultura. Para A. gigas, reportou-se a primeira maturação gonadal após os 4-5 anos, com machos medindo cerca de 115–124 cm (CT) e fêmeas 145–154 cm em populações do rio Tocantins (GODINHO; SANTOS; FORMAGIO; GUIMARÃES-CRUZ, 2005). Entretanto, a primeira maturação em animais com 3-5 anos foi reportada em populações do rio Amazonas, onde o tamanho médio dos animais maduros variou de 157 a 164 cm (CT) (ARANTES; CASTELLO; STEWART; CETRA et al., 2010). Mais recentemente, dados médios de primeira maturação sexual com 149 cm foram apresentados para diversas populações da Bacia Amazônica (GURDAK; STEWART; CASTELLO; ARANTES, 2019). Os dados a esse respeito são mais escassos para populações de cativeiro, sendo a primeira reprodução em casais de pirarucu reportada a partir dos 5 anos de idade (BOCANEGRA, 1990; IMBIRIBA, 1994). Em relação aos pimelodídeos, existem dados limitados sobre populações de B. filamentosum do rio Amazonas em que a primeira maturação foi reportada para 6 anos de idade, quando machos e fêmeas medem cerca de 106 cm e 161 cm (CT), respectivamente (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA et al., 2000; PETRERE JR.; BARTHEM; CÓRDOBA; GÓMEZ, 2004). Não foram encontrados estudos reportando a idade de primeira maturação em populações de P. hemioliopterus. Entretanto, sabe-se ela ocorre em animais com cerca de 77,8 cm em

ambos os sexos para populações estudadas no rio Xingu (FREITAS; MONTAG, 2019), e de 104 cm em populações do rio Caquetá (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA et al., 2000). Para Z. zungaro, existem relatos da primeira maturação ocorrendo aos 75 cm e 109 cm em populações do Orinoco (RAMÍREZ-GIL, 2016). Não foram encontrados dados sobre a idade de primeira maturação para populações de cativeiro para B. filamentosum, P. hemioliopterus e Z. zungaro.

Informações sobre o **período reprodutivo** em populações naturais e de cativeiro também foram pesquisadas. Na natureza, a reprodução do pirarucu se inicia na época chuvosa, quando casais se formam e migram lateralmente para a várzea inundada, sendo variável nas diferentes regiões onde a espécie ocorre (NÚÑEZ; CHU-KOO; BERLAND; ARÉVALO et al., 2011; NÚÑEZ; DUPONCHELLE, 2009). Em cativeiro, reporta-se que o pirarucu pode se reproduzir ao longo do ano todo, sendo o pico reprodutivo no início da estação chuvosa (NÚÑEZ; CHU-KOO; BERLAND; ARÉVALO et al., 2011). Os dados sobre período reprodutivo de B. filamentosum e P. hemioliopterus são restritos à Amazônia colombiana e foram reportados com base em índices de maturação gonadal (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA et al., 2000). Para B. filamentosum estima-se que ocorra durante o final das cheias, com pico variando de acordo com a localidade. Já a reprodução de P. hemioliopterus inicia durante o mês de janeiro e pode se estender até o mês de maio na Amazônia colombiana (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA et al., 2000), tendo seu pico registrado para a época de cheias (Março-Maio) também em populações do rio Xingu (FREITAS; MONTAG, 2019). Não foram encontrados dados sobre período reprodutivo para nenhuma população de Z. zungaro nem relatos de plantel de reprodutores mantido em cativeiro.

## 3.2 Desenvolvimento gonadal

Estudos sobre desenvolvimento gonadal (**gametogênese**) são básicos para viabilizar tecnologias de reprodução controlada em piscicultura, como terapias hormonais para estimulação da maturação final e ovulação/espermiação (GRIER; ARANZÁBAL; PATIÑO, 2009). Descrito inicialmente para machos e fêmeas em população do rio Tocantins, sabe-se que o ovário do pirarucu possui desenvolvimento assincrônico, sendo que múltiplas desovas podem ocorrer ao longo do ano (GODINHO; SANTOS; FORMAGIO; GUIMARÃES-CRUZ, 2005; NÚÑEZ; CHU-KOO; BERLAND; ARÉVALO et al., 2011; NÚÑEZ; DUPONCHELLE, 2009). Posteriormente, estudos mostraram que populações de cativeiro chegam às fases de maturação final/ovulação, tendo essas sido descritas pela primeira vez recentemente (TORATI; LIMA; GANECO-KIRSCHNIK; MIGAUD, 2019). Um estudo recente também reportou as fases iniciais de diferenciação gonadal em A. gigas, esta, ocorrendo em indivíduos medindo 9 cm (CT) (AMARAL; LIMA; GANECO-KIRSCHNIK; ALMEIDA, 2020). O **ciclo gonadal** de A. gigas foi descrito para populações de cativeiro no Peru (NÚÑEZ; DUPONCHELLE, 2009), estudo complementado recentemente com dados de esteroides sexuais associados aos estágios de maturação gonadal, em populações naturais do rio Amazonas (AMARAL; LIMA; GANECO-KIRSCHNIK; ALMEIDA, 2020). A **fecundidade** total de A. gigas é estimada de 58.000 a 86.000 com base em ovócitos maduros, entretanto estima-se um terço destes sejam ovulados por desova, resultando em ninhadas de no máximo 11.000 alevinos, sendo ao menos três desovas possíveis por

período reprodutivo (NÚÑEZ; CHU-KOO; BERLAND; ARÉVALO et al., 2011). Faltam ainda estudos sobre o **gametogênese** e **ciclo gonadal** dos três pimelodídeos estudados, apesar de que essas espécies são presumivelmente de desova total (VAN DAMME; CARVAJAL-VALLEJOS; CARPIO, 2011). Informações esparsas reportam que a maturação gonadal em B. filamentosum ocorre em diferentes meses do ano, de acordo com a localidade e que, de modo geral, a espécie encontra-se em adiantado processo reprodutivo quando os níveis dos rios começam a baixar (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA et al., 2000; PETRERE JR.; BARTHEM; CÓRDOBA; GÓMEZ, 2004). Entretanto, estudos sobre a fecundidade dessa espécie ainda são necessários.

### 3.3 Comportamento reprodutivo

O conhecimento acerca do **comportamento reprodutivo** dos peixes em ambiente natural é essencial para viabilizar estruturas e manejos apropriados para que a reprodução ocorra em cativeiro (PITCHER, 1986). No pirarucu a desova e fertilização externa ocorre em ninhos escavados em substrato arenoso/argiloso (CASTELLO, 2008b; FONTENELE, 1953), havendo cuidado parental intenso até os três meses de idade da prole (TORATI; MIGAUD; DOHERTY; SIWY et al., 2017). Apesar de relatos ocasionais, faltam dados sobre a possível incubação oral na espécie. Além disso, por tempo acreditou-se que o pirarucu fosse uma espécie monogâmica, uma vez que na natureza e em ambiente de cativeiro casais nadam sempre juntos durante o período reprodutivo e parte do cuidado parental. Isso motivou a construção dos chamados “motéis” em diversos lugares (FONTENELE, 1948), na tentativa de estimular a reprodução em cativeiro. Entretanto, estudo recente mostrou a contribuição genética de mais de um macho na prole de reproduções ocorridas em ambientes natural e de cativeiro (FARIAS; LEÃO; CROSSA; ALMEIDA et al., 2015), indicando a poligamia da espécie. De fato, a separação de casais é prática comum visando estimular a reprodução (NÚÑEZ; CHU-KOO; BERLAND; ARÉVALO et al., 2011; REBOUÇAS; MACIEL; COSTA; GALVÃO et al., 2014; TORATI; TAYLOR; MESQUITA; MIGAUD, 2020), sendo ternos (dois machos para uma fêmea) também sido reportado em cativeiro (LIMA, 2018). Nas espécies de Pimelodidae revisadas, a fecundação é externa não havendo cuidado parental (LUNDBERG; LITTMANN, 2003). Existem indicativos de que a desova de B. filamentosum seja do tipo total (SANTOS; FERREIRA; ZUANON, 2009), entretanto, faltam ainda informações gerais sobre hábitos e locais de desova. Em P. hemioliopterus, existem relatos de que a oviposição seja feita sobre substratos como cavidades em rochas e troncos em locais com alto fluxo de água nas margens das cabeceiras dos rios (GARCÍA-DÁVILA, 2018; VAN DAMME; CARVAJAL-VALLEJOS; CARPIO, 2011). Não foram encontrados dados ou relatos descrevendo os hábitos de desova e comportamento reprodutivo de Z. zungaro.

### 3.4 Diversidade e estrutura genética

A **diversidade genética** de uma população é considerada o “material básico” dos processos evolutivos via seleção natural, e seu conhecimento é fundamental no processo de domesticação, na adaptação de linhagens aos diferentes tipos de cultivo e nos programas de melhoramento genético (ZHANJIANG, 2011)>@. Até o presente, diversos estudos caracterizaram a **diversidade genética** e **estrutura populacional** em populações de A. gigas dos rios Amazonas, Solimões, Tocantins, Araguaia e Essequibo utilizando marcadores mitocondriais (mtDNA), microssatélites, “inter-simple sequence repeats”

(ISSRs) e “single nucleotide polimorphisms” (SNPs) (ARARIPE; RÊGO; QUEIROZ; SAMPAIO et al., 2013; FARIAS; WILLIS; LEÃO; VERBA et al., 2019; HAMOY; SANTOS; SANTOS, 2008; HRBEK; CROSSA; FARIAS, 2007; HRBEK; FARIAS; CROSSA; SAMPAIO et al., 2005; NOGUEIRA; AL., 2020a; b; TORATI; TAGGART; VARELA; ARARIPE et al., 2019; VITORINO; NOGUEIRA; SOUZA; ARARIPE et al., 2017). É consensual nesses trabalhos a existência de uma diversidade genética maior nas populações da bacia do Amazonas, em contraste com as populações do Tocantins-Araguaia onde a diversidade genética é relativamente menor. Para B. filamentosum, dados sobre diversidade genética e estrutura populacional são restritos para populações da bacia Amazônica utilizando-se mtDNA (HUERGO; FILGUEIRAS-SOUZA; BATISTA; FORMIGA-AQUINO et al., 2011). Não existem dados sobre a diversidade genética e estrutura populacional de P. hemioliopterus e Z. zungaro, evidenciando-se grande necessidade de estudos do tipo para essas espécies de pimelodídeos. Para Z. zungaro, existem dados moleculares para populações das bacia do Tocantins, Orinoco e Amazonas, em estudos que objetivaram esclarecer dúvidas sobre a diversidade de espécies em Zungaro, o que evidencia uma necessidade ainda maior de estudos específicos para Z. zungaro (BONI; PADIAL; PRIOLI; LUCIO et al., 2011; PIRES; RAMIREZ; GALETTI JR; TROY et al., 2017).

Em relação à realização de cruzamentos interespecíficos (**hibridação**) geralmente realizada em aquicultura, não existem relatos envolvendo A. gigas. Por outro lado, isso é mais frequente dentre os pimelodídeos revisados. **Hibridações** envolvendo macho de P. hemioliopterus com fêmeas de Pseudoplatystoma reticulatum (cachapira), ou macho de P. hemioliopterus com a fêmea de Pseudoplatystoma corruscans (pintapira) são comuns na aquicultura (HASHIMOTO; SENHORINI; FORESTI; PORTO-FORESTI, 2012; PORTO-FORESTI; HASHIMOTO; PRADO; SENHORINI et al., 2013). Embora este tipo de cruzamento seja uma prática amplamente difundida nas pisciculturas que comercializam bagres, qualquer informação relacionada com os protocolos de reprodução utilizados no P. hemioliopterus e o destino final desses juvenis fica restrita ao âmbito comercial, sem qualquer tipo de acompanhamento por parte do setor acadêmico, situação que deverá ser abordada uma vez que esses cruzamentos possivelmente geram descendentes férteis representando risco às populações naturais e puras (HASHIMOTO; PRADO; FORESTI; PORTO-FORESTI, 2016; PORTO-FORESTI; HASHIMOTO; PRADO; SENHORINI et al., 2013). Não foram encontrados quaisquer relatos de hibridizações envolvendo B. filamentosum e Z. zungaro, tampouco estudos envolvendo **edição gênica** em nenhuma das espécies estudadas.

## 3.5 Citogenética e genômica

Estudos sobre **citogenética** são importantes na aquicultura, por serem úteis na compreensão da diversidade e relações filogenéticas das espécies de interesse. Além disso, possibilitam a identificação de cromossomos marcadores para identificação sexual, características de interesse zootécnico; viabilizam experimentos para indução de indivíduos monossexo; a aplicação de técnicas como ginogênese, transgenia e poliploidia; e a compreensão de anomalias nos estágios iniciais de desenvolvimento provocadas por alterações cromossômicas (GORSHKOVA, 2006). Diversos estudos sobre a citogenética de A. gigas foram consistentes em revelar a existência de 2n=56 cromossomos na espécie

inexistindo cromossomos sexuais dimórficos que pudessem ser úteis na identificação sexual da espécie (MARQUES; VENERE; GALETTI JR., 2006; ROSA; RUBERT; CAETANO-FILHO; GIULIANO-CAETANO, 2009). Para as espécies de pimelodídeos abordadas, estudos também revelaram a existência de 2n=56 cromossomos para B. filamentosum (GONÇALVES; PRADO; FERREIRA; VOLTOLIN et al., 2014), para P. hemioliopterus (SWARÇA; DIAS; FENOCCHIO, 2017) e para Z. zungaro (SWARÇA; CESTARI; GIULIANO-CAETANO; DIAS, 2001). Em nenhuma delas dimorfismos sexuais foram encontrados.

Tecnologias genômicas estão possibilitando a cada dia o sequenciamento genômico a custos cada vez mais acessíveis, permitindo identificar genes de vital importância na resistência a doenças, no melhoramento das taxas de crescimento e conversão alimentar, assim como na resposta a fatores estressantes entre outros aspectos fundamentais para o sucesso de uma espécie dentro de um mercado de consumo cada vez mais competitivo (JIN; LIU; YUAN; YANG et al., 2016; ZHANJIANG, 2011)2016; ZHANJIANG, 2011.

A caracterização e isolamento de primers para DNA microssatélites (FARIAS; HRBEK; BRINKMANN; SAMPAIO et al., 2003), o sequenciamento do genoma mitocondrial (HRBEK; FARIAS, 2008) e o desenvolvimento painéis de SNP (TORATI; TAGGART; VARELA; ARARIPE et al., 2019) viabilizaram diversos estudos populacionais e de parentesco para A. gigas com diferentes marcadores. Recentemente, o genoma completo de A. gigas foi sequenciado (DU; WUERTZ; ADOLFI; KNEITZ et al., 2019; VIALLE; SOUZA; LOPES; TEIXEIRA et al., 2018) abrindo caminho para o melhor entendimento dos mecanismos de reprodução na espécie. Entretanto, são ainda poucos os estudos sobre transcriptoma em A. gigas (WATANABE; GOMES; VIANEZ; NUNES et al., 2018)2018. Para B. filamentosum, existem apenas dados de sequenciamento de mtDNA utilizados na estudos de genética de populações (HUERGO; FILGUEIRAS-SOUZA; BATISTA; FORMIGA-AQUINO et al., 2011). Para P. hemioliopterus, o isolamento e caracterização de nove marcadores microssatélites foi realizado (SOUZA; HASHIMOTO; PEREIRA; OLIVEIRA et al., 2012), bem como existem marcadores de mtDNA 16S e RAG2 desenvolvidos para identificação de híbridos interespecíficos (PORTO-FORESTI; HASHIMOTO; PRADO; SENHORINI et al., 2013). Em relação à Z. zungaro, trabalhos utilizaram marcadores nucleares (rag 1 e 2) e mtDNA para entender relações filogenéticas da família (LUNDBERG; SULLIVAN; HARDMAN, 2011), e COI/D-loop para compreender a diversidade de espécies dentro do gênero Zungaro (BONI; PADIAL; PRIOLI; LUCIO et al., 2011; PIRES; RAMIREZ; GALETTI JR; TROY et al., 2017). Até o momento, não existe um genoma completo sequenciado para nenhum dos pimelodídeos, tampouco um **genoma funcional** para nenhuma das quatro espécies revisadas.

### 3.6 Identificação e maturidade sexual

Ferramentas para a identificação sexual são essenciais para seleção de reprodutores. Para o pirarucu, os métodos para identificação sexual existentes incluem o padrão de coloração diferencial entre machos e fêmeas (LIMA; ALVES; TORATI, 2020), a detecção plasmática de vitelogenina para identificação de fêmeas (CHU-KOO; DUGUE; ALVAN AGUILAR; CASANOVA DAZA et al., 2009), endoscopia (TORATI; VARGES; GALVÃO; MESQUITA et al., 2016) e/ou canulação (TORATI; LIMA; GANECO-KIRSCHNIK; MIGAUD, 2019) para identificação de fêmeas. Ferramentas moleculares para identificação sexual em

A. gigas estão próximas de serem desenvolvidas (DU; WUERTZ; ADOLFI; KNEITZ et al., 2019). Existem poucas informações acerca de dimorfismos sexuais em B. filamentosum e P. hemioliopterus e aplicação na identificação sexual dos reprodutores. Sabe-se que fêmeas de B. filamentosum e Z. zungaro são maiores e mais pesadas do que os machos (AGUDELO; SALINAS; SÁNCHEZ; MUÑOZ-SOSA et al., 2000; RAMÍREZ-GIL, 2016), e que fêmeas de P. hemioliopterus são mais pesadas do que os machos, porém inexistem informações sobre dimorfismos no tamanho desta espécie (FREITAS; MONTAG, 2019).

Ferramentas para determinação in vivo do estágio de maturação sexual gonadal são essenciais para seleção de reprodutores e indução da reprodução, seja ela natural ou induzida através de hormônios indutores. Para A. gigas, a técnica de canulação foi viabilizada recentemente através da descrição da anatomia gonadal estudada por endoscopia não-cirúrgica (TORATI; LIMA; GANECO-KIRSCHNIK; MIGAUD, 2019; TORATI; VARGES; GALVÃO; MESQUITA et al., 2016). Para B. filamentosum e P. hemioliopterus não existem relatos de métodos empregados (ex. canulação, ultrassom etc.) para determinação do grau de maturação gonadal. Já para Z. zungaro, não foram encontrados relatos sobre reprodução de em cativeiro.

## 3.7 Obtenção de formas jovens

Formas jovens de peixes são obtidas em cativeiro estimulando-se a reprodução natural para coleta de larvas e/ou alevinos, ou estimulando-se a maturação final/ovulação e espermiação para coleta dos gametas e fertilização artificial, geralmente empregando-se manipulações hormonais ou ambientais (MYLONAS; FOSTIER; ZANUY, 2010). Atualmente, a reprodução do pirarucu em cativeiro ocorre de forma natural, separando-se casais ou ternos (dois machos e uma fêmea) em viveiros escavados (LIMA, 2018; REBOUÇAS; MACIEL; COSTA; GALVÃO et al., 2014; TORATI; TAYLOR; MESQUITA; MIGAUD, 2020). Com os conhecimentos e tecnologias empregados atualmente, a eficácia na obtenção de desovas é ainda insatisfatória. As ferramentas para identificação sexual são extremamente necessárias nesse processo, mas ainda não estão muito difundidas no setor produtivo. A técnica de canulação pode atualmente também auxiliar no processo de separação dos casais, possibilitando a escolha de fêmeas sabidamente maduras (TORATI; LIMA; GANECO-KIRSCHNIK; MIGAUD, 2019), mas a eficácia da escolha de fêmeas em maturação final no sucesso reprodutivo de casais não foi ainda estudado. Existem indicativos de que o tamanho mínimo necessário para os viveiros de reprodução sejam de pelo menos 200 $m^2$ (HALVERSON, 2013), mas viveiros maiores são geralmente utilizados (NÚÑEZ; CHU-KOO; BERLAND; ARÉVALO et al., 2011). Pesquisas com estimulação hormonal da maturação final – ovulação/espermiação no pirarucu são ainda escassas. Trabalhos recentes clonaram e caracterizaram as subunidades α e β do FSH e LH do pirarucu (BARTOLINI; CARVALHO; SEVILHANO; OLIVEIRA et al., 2015; FARIA; CARVALHO; SEVILHANO; OLIVEIRA et al., 2013; SEVILHANO; CARVALHO; OLIVEIRA; OLIVEIRA et al., 2017), abrindo a possibilidade de aplicação futura de gonadotrofinas recombinantes na estimulação da reprodução. Implantes de liberação lenta de mGnRHa foram testados em casais, entretanto desovas e reproduções não foram observadas (TORATI; TAYLOR; MESQUITA; MIGAUD, 2020), havendo necessidade de novos estudos com implantes de liberação lenta na espécie. Também não existem relatos sobre a possibilidade de coleta de gametas em A. gigas,

apesar de fêmeas ovuladas terem sido reportadas indicando tal possibilidade (TORATI; LIMA; GANECO-KIRSCHNIK; MIGAUD, 2019). Atualmente, produtores coletam larvas e alevinos em diferentes momentos do cuidado parental, existindo protocolos de captura e larvicultura (HALVERSON, 2013), mas ainda poucos estudos sobre nutrição/alimentação larval (URIBE, 2019). Para os pimelodídeos revisados, não existem informações sobre métodos para promoção da reprodução em cativeiro, apesar de os relatos de hibridação em P. hemioliopterus indicarem a viabilidade de técnicas de coleta de gametas.

### 3.8 Conservação de gametas e embriões

Apesar importância da conservação de células germinativas, gametas ou mesmo embriões visando a preservação da espécie ou aplicação pela aquicultura, ainda são inexistentes protocolos tecnológicos para as quatro espécies revisadas.

## 4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento bibliográfico feito sobre os aspectos reprodutivos em quatro dos maiores peixes de água doce do Brasil permitiu uma aproximação ao panorama atual destas espécies e sua real incorporação e contribuição ao desenvolvimento da piscicultura, nos países banhados pela bacia do rio amazonas.

Muitos são os desafios que deverão ser superados, visto que as informações para promover a sua propagação em cativeiro ainda são incipientes. No entanto, novas rotas de pesquisa para desvendar estes aspectos foram estabelecidas e é neste sentido que a velocidade e o fácil acesso às informações de caráter científico poderão encurtar os esforços necessários para que estas espécies possam alcançar um patamar que viabilize a sua produção em escala no futuro.

## REFERÊNCIAS


AGUDELO, E.; SALINAS, Y.; SÁNCHEZ, C. L.; MUÑOZ-SOSA, D. L. *et al.* **Bagres de la Amazonia Colombiana: Un recurso sin fronteras**. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Programa de Ecosistemas Acuáticos, 2000. 252 p.

AMARAL, A. C.; LIMA, A. F.; GANECO-KIRSCHNIK, L. N.; ALMEIDA, F. L. Morphological characterization of pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) gonadal differentiation. **Journal of Morphology**, 281, n. 4-5, p. 491-499, 2020.

ARANTES, C. C.; CASTELLO, L.; STEWART, D. J.; CETRA, M. *et al.* Population density, growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river-floodplain. **Ecology of Freshwater Fish**, 19, n. 3, p. 455-465, 2010.

ARARIPE, J.; RÊGO, P. S.; QUEIROZ, H.; SAMPAIO, I. *et al.* Dispersal capacity and genetic structure of *Arapaima gigas* on different geographic scales using microsatellite marker. **Plos One**, 8, n. 1, p. 1-7, 2013.

BARTHEM, R. B.; RIBEIRO, M. C. L. B.; PETRERE JR., M. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the amazon basin. **Biological Conservation**, 55, p. 339-345, 1991.

BARTOLINI, P.; CARVALHO, R. F.; SEVILHANO, T. C.; OLIVEIRA, J. E. *et al.* Molecular cloning, characterization and phylogenetic analysis of pirarucu (*Arapaima gigas*) FSH and LH β-subunits. **Journal of Biotechnology**, 208, p. S5-S120, 2015.

BOCANEGRA, F. A. Observaciones sobre el comportamiento reproductivo del paiche *Arapaima gigas*, en cautiverio. **Folia Amazonica**, 2, p. 163-166, 1990.

BOCANEGRA, F. A.; TELLO, J. S.; CHAVEZ, C. V.; RODRIGUEZ, L. C. *et al.* Pond culture of *Arapaima gigas* in the Peruvian Amazon. **World Aquaculture**, 34, n. 1, p. 45-46, 2004.

BONI, T. A.; PADIAL, A. A.; PRIOLI, S. M. A. P.; LUCIO, L. C. *et al.* Molecular differentiation of species of the genus *Zungaro* (Siluriformes, Pimelodidae) from the Amazon and Paraná-Paraguay River basins in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, 10, n. 4, p. 2795-2805, 2011.

CASIMIRO, A. C. R.; GARCIA, D. A. Z.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P.; BRITTON, J. R. *et al.* Escapes of non-native fish from flooded aquaculture facilities: The case of Paranapanema river, southern Brazil. **Zoologia**, 35, p. e14638, 2018.

CASTELLO, L. Lateral migration of *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. **Ecology of Freshwater Fish**, 17, n. 1, p. 38-46, 2008a.

CASTELLO, L. Nesting habitat of *Arapaima gigas* (Schinz) in Amazonian floodplains. **Journal of Fish Biology**, 72, n. 6, p. 1520-1528, 2008b.

CASTELLO, L.; STEWART, D. J. Assessing CITES non-detriment findings procedures for *Arapaima* in Brazil. **Journal of Applied Ichthyology**, 26, n. 1, p. 49-56, 2010.

CAVOLE, L. M.; ARANTES, C. C.; CASTELLO, L. How illegal are tropical small-scale fisheries? An estimate for arapaima in the Amazon. **Fisheries Research**, 168, p. 1-5, 2015.

CHU-KOO, F.; DUGUE, R.; ALVAN AGUILAR, M.; CASANOVA DAZA, A. *et al.* Gender determination in the Paiche or Pirarucu (*Arapaima gigas*) using plasma vitellogenin, 17β-estradiol, and 11-ketotestosterone levels. **Fish Physiology and Biochemistry**, 35, n. 1, p. 125-136, Mar 2009.

DU, K.; WUERTZ, S.; ADOLFI, M. C.; KNEITZ, S. *et al.* The genome of the arapaima (*Arapaima gigas*) provides insights into gigantism, fast growth and chromosomal sex determination system. **Nature Scientific Reports**, 9, n. 5293, p. 1-12, 2019.

FARIA, M. T.; CARVALHO, R. F.; SEVILHANO, T. C.; OLIVEIRA, N. A. *et al.* Isolation of the pituitary gonadotrophic a-subunit hormone of the giant amazonian fish: pirarucu (*Arapaima gigas*). **Fish Physiology and Biochemistry**, 39, n. 3, p. 683-693, Jun 2013.

FARIAS, I. P.; HRBEK, T.; BRINKMANN, H.; SAMPAIO, I. *et al.* Characterization and isolation of DNA microsatellite primers for *Arapaima gigas*, an economically important but severely over-exploited fish species of the Amazon basin. **Molecular Ecology Notes**, 3, p. 128-130, 2003.

FARIAS, I. P.; LEÃO, A.; CROSSA, M.; ALMEIDA, Y. S. *et al.* Evidence of polygamy in the socially monogamous Amazonian fish *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Osteoglossiformes, Arapaimidae). **Neotrop Ichthyol**, 13, n. 1, p. 195-204, 2015.

FARIAS, I. P.; WILLIS, S.; LEÃO, A.; VERBA, J. T. *et al.* The largest fish in the world's biggest river: Genetic connectivity and conservation of *Arapaima gigas* in the Amazon and Araguaia-Tocantins drainages. **PloS One**, p. 1-27, 2019.

FONTENELE, O. Contribuição para o conhecimento da biologia do Pirarucú, "*Arapaima gigas*" (Cuvier), em cativeiro (Actinopterygii, Osteoglossidae). **Revista Brasileira de Biologia**, 8, n. 4, p. 445-459, 1948.

FONTENELE, O. **Habitos de desova do pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier) (Pisces, Isospondyli, Arapaimidae), e evolução de sua larva**. Fortaleza: DNOCS, 1953. 22 p., v. 153).

FREITAS, T. M. S.; MONTAG, L. F. A. Population and reproductive parameters of the red-tailed catfish, *Phractocephalus hemioliopterus* (Pimelodidae: Siluriformes), from the Xingu River, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, 17, n. 2, p. e190015, 2019.

GALVIS, G.; MOJICA, J. I.; DUQUE, S. R.; CASTELLANOS, C. *et al.* **Peces del medio Amazonas. Región de Leticia**. Bogotá, D. C., Colombia: Panamericana, Formas e Impresos, 2006. (Serie de Guías Tropicales de Campo No 5. Conservation Internacional.

GARCÍA-DÁVILA, C. Peces de consumo de la amazonía peruana. Iquitos: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). p. 218, 2018.

GODINHO, H. P.; SANTOS, J. E.; FORMAGIO, P. S.; GUIMARÃES-CRUZ, R. J. Gonadal morphology and reproductive traits of the Amazonian fish *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). **Acta Zoologica, Stockolm**, 86, p. 289-294, 2005.

GONÇALVES, A. L. M.; PRADO, F. D.; FERREIRA, D. C.; VOLTOLIN, T. A. *et al.* First cytogenetic characterization of the giant Amazonian catfish *Brachyplatystoma filamentosum* (Siluriformes, Pimelodidae). **Caryologia: International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetic**, 67, n. 2, p. 101-105, 2014.

GORSHKOVA, G. Practical use of cytogenetics in fish biology and aquaculture. **The Israeli Journal of Aquaculture, Bamidgeh**, 58, n. 4, p. 280-285, 2006.

GRIER, H. J.; ARANZÁBAL, M. C. U.; PATIÑO, R. The ovary, folliculogenesis, and oogenesis in teleosts. *In*: JAMIESON, B. G. M. (Ed.). **Reproductive biology and phylogeny of fishes (Agnathans and Bony Fishes)**. Enfield, New Hampshire: Science Publishers, 2009. p. 24-85.

GURDAK, D. J.; STEWART, D. J.; CASTELLO, L.; ARANTES, C. C. Diversity in reproductive traits of arapaima (*Arapaima* spp., Müller, 1843) in Amazonian várzea floodplains: Conservation implications. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, p. 1-13, 2019.

HAHN, L.; MARTINS, E. G.; NUNES, L. D.; DA CÂMARA, L. F. *et al.* Biotelemetry reveals migratory behaviour of large catfish in the Xingu River, Eastern Amazon. **Scientific Reports**, 9, n. 1, p. 1-15, 2019.

HALVERSON, M. **Manual de boas práticas de reprodução do Pirarucu em cativeiro**. Brasília: Sebrae, 2013. 74 p.

HAMOY, I. G.; SANTOS, E. J. M.; SANTOS, S. E. B. Rapid and inexpensive analysis of genetic variability in *Arapaima gigas* by PCR multiplex panel of eight microsatellites. **Genetics and Molecular Research**, 7, n. 1, p. 29-32, 2008.

HASHIMOTO, D. T.; PRADO, F. D.; FORESTI, F.; PORTO-FORESTI, F. Molecular identification of intergenus crosses involving catfish hybrids: Risks for aquaculture production. **Neotropical Ichthyology**, 14, n. 2, p. e150139, 2016.

HASHIMOTO, D. T.; SENHORINI, J. A.; FORESTI, F.; PORTO-FORESTI, F. Interspecific fish hybrids in Brazil: management of genetic resources for sustainable use. **Reviews in Aquaculture**, 4, n. 2, p.

108-118, 2012.

HRBEK, T.; CROSSA, M.; FARIAS, I. P. Conservation strategies for *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) and the Amazonian várzea ecosystem. **Braz J Biol**, 67, n. 4, p. 909-917, 2007.

HRBEK, T.; FARIAS, I. P. The complete mitochondrial genome of the pirarucu (*Arapaima gigas*, Arapaimidae, Osteoglossiformes). **Genetics and Molecular Biology**, 31, n. 1, p. 293-302, 2008.

HRBEK, T.; FARIAS, I. P.; CROSSA, M.; SAMPAIO, I. *et al.* Population genetic analysis of *Arapaima gigas*, one of the largest freshwater fishes of the Amazon basin: implications for its conservation. **Anim Conserv**, 8, n. 3, p. 297-308, 2005.

HUERGO, M. G.; FILGUEIRAS-SOUZA, R. J.; BATISTA, J. S.; FORMIGA-AQUINO, K. *et al.* Molecular genetics as a tool for fisheries management in the Brazilian Amazon: Piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* and *Brachyplatystoma capapretum*) (Siluriformes: Pimelodidae) in white-water rivers. **Pan American Journal of Aquatic Sciences**, 6, n. 4, p. 280-289, 2011.

IMBIRIBA, E. P. Reprodução, larva e alevinagem do Pirarucu (*Arapaima gigas*). **EMBRAPA CPATU**, 26, p. 1-4, 1994.

JAKOBSEN, T.; FOGARTY, M. J.; MEGREY, B. A.; MOKSNESS, E. **Fish reproductive biology: implications for assessment and management**. West Sussex, UK: Wiley Blackwell, 2016.

JIN, Y.; LIU, S.; YUAN, Z.; YANG, Y. *et al.* Catfish genomic studies: Progress and perspectives. *In*: MACKENZIE, S. e JENTOFT, S. (Ed.). **Genomics in Aquaculture**. Amsterdam: Elsevier Inc, 2016. p. 73-104.

LASSO, C. A.; CÓRDOBA, E. A.; JIMÉNEZ-SEGURA, L. F.; RAMÍREZ-GIL, H. *et al.* **Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia**. Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), 2011.

LIMA, A. F. The influence of sex ratio on the reproduction of pirarucu, *Arapaima gigas*, in captivity. **Acta Amazonica**, 48, n. 1, p. 38-41, 2018.

LIMA, A. F.; ALVES, R. R.; TORATI, L. S. Efficiency of color pattern as a method for sex identification in *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). **Pan American Journal of Aquatic Sciences**, 15, n. 2, p. 87-92, 2020.

LIMA, A. F.; MAKRAKIS, M. C.; SILVA, P. S.; AZEVEDO, A. V. *et al.* Padrões de distribuição e ocorrência espaço-temporal de ovos e larvas de peixes nos rios Pardo e Anhanduí, bacia do alto rio Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências (Porto Alegre)**, 11, n. 1, p. 7-13, 2013.

LUNDBERG, J. G.; AGUILERA, O. The late Miocene *Phractocephalus* catfish (Siluriformes: Pimelodidae) from Urumaco, Venezuela: additional specimens and reinterpretation as a distinct species. **Neotropical Ichthyology**, 1, n. 2, p. 97-109, 2003.

LUNDBERG, J. G.; LITTMANN, M. W. Siluriformes: Family Pimelodidae – long-whiskered catfishes. *In*: KULLANDER, S.;REIS, R.*, et al* (Ed.). **Check list of freshwater fishes of South and Central America**. Porto Alegre: Edipucrs, 2003. p. 437-452.

LUNDBERG, J. G.; SULLIVAN, J. P.; HARDMAN, M. Phylogenetics of the South American catfish family Pimelodidae (Teleostei: Siluriformes) using nuclear and mitochondrial gene sequences. **Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia**, 161, n. 1, p. 153-189, 2011.

MARQUES, D. K.; VENERE, P. C.; GALETTI JR., P. M. Chromosomal characterization of the bonytongue *Arapaima gigas* (Osteoglossiformes: Arapaimidae). **Neotrop Ichthyol**, 4, n. 2, p. 215-218, 2006.

MYLONAS, C. C.; FOSTIER, A.; ZANUY, S. Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. **General and Comparative Endocrinology**, 165, n. 3, p. 516-534, Feb 1 2010.

NELSON, J. S.; GRANDE, T. C.; WILSON, M. V. H. **Fishes of the world**. 5th ed. New Jersey: Wiley, 2016.

NOGUEIRA, F.; AL., e. The arapaima, an emblematic fishery resource: genetic diversity and structure reveal the presence of an isolated population in Amapá. **Hydrobiologia**, 2020a.

NOGUEIRA, F.; AL., e. Genetic diversity and structuring in the arapaima (Osteoglossiformes, Osteoglossidae) population reveal differences between the Amazon and the Tocantins-Araguaia basins. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 92, n. 1, 2020b.

NÚÑEZ, J.; CHU-KOO, F.; BERLAND, M.; ARÉVALO, L. *et al.* Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Perú. **Aquaculture Research**, 42, n. 6, p. 815-822, 2011.

NÚÑEZ, J.; DUPONCHELLE, F. Towards a universal scale to assess sexual maturation and related life history traits in oviparous teleost fishes. **Fish Physiology and Biochemistry**, 35, n. 1, p. 167-180, Mar 2009.

NÚÑEZ, J.; DUPONCHELLE, F.; COTRINA-DORIA, M.; RENNO, J. F. *et al.* Movement patterns and home range of wild and re-stocked *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) monitored by radio-telemetry in Lake Imiria, Peru. **J Appl Ichthyol**, 31, n. 4, p. 10-18, 2015.

OLIVEIRA, E. G.; PINHEIRO, A. B.; OLIVEIRA, V. Q.; SILVA JR., A. R. M. *et al.* Effects of stocking density on the performance of juvenile pirarucu (*Arapaima gigas*) in cages. **Aquaculture**, 370-71, p. 96-101, 2012.

OVIEDO, J. S. U.; VILLA-NAVARRO, F.; LASSO, C. A.; CASTRO, F. *et al.* Peces dulceacuícolas migratorios de Colombia. *In*: ZAPATA, L. A. e USMA, J. S. (Ed.). **Guía de las Especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia. Peces**. Bogotá, D.C. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. WWF-Colombia, 2013. v. 2, p. 215-457.

PETRERE JR., M.; BARTHEM, R. B.; CÓRDOBA, E. A.; GÓMEZ, B. C. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, 14, p. 403–414, 2004.

PIRES, A. A.; RAMIREZ, J. L.; GALETTI JR, P. M.; TROY, W. P. *et al.* Molecular analysis reveals hidden diversity in *Zungaro* (Siluriformes: Pimelodidade): a genus of giant South American catfish. **Genetica**, 145, p. 335-340, 2017.

PITCHER, T. J. **The behaviour of teleost fishes**.  Croom Helm, 1986.

PORTO-FORESTI, F.; HASHIMOTO, D. T.; PRADO, F. D.; SENHORINI, J. A. *et al.* Genetic markers for the identification of hybrids among catfish species of the family Pimelodidae. **Journal of Applied Ichthyology**, 29, n. 3, p. 643-647, 2013.

RAMÍREZ-GIL, H. Spatial and temporal length distribution of *Zungaro zungaro* caught in the Orinoco River Basin of Colombia. **Revista MVZ Córdoba**, 21, n. 1, p. 5211-5221, 2016.

REBOUÇAS, P. M.; MACIEL, R. L.; COSTA, B. G. B.; GALVÃO, J. A. S. *et al.* Analysis of the welfare of broodstock *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) by length-weight relationship, condition factor and fry production. **Bioscience Journal**, 30, n. 2, p. 873-881, 2014.

ROSA, R.; RUBERT, M.; CAETANO-FILHO, M.; GIULIANO-CAETANO, L. Conserved Cytogenetic Features in the Amazonian Arapaima, *Arapaima gigas* (Schinz 1822) from Jamari River, Rondônia–Brazil. **Open Biol**, 2, p. 91-94, 2009.

SANTOS, G.; FERREIRA, E.; ZUANON, J. **Peixes comerciais de Manaus**. Manaus: INPA, 2009. 144 p.

SEVILHANO, T.; CARVALHO, R. F.; OLIVEIRA, N. A. J.; OLIVEIRA, J. E. *et al.* Molecular cloning and characterization of pirarucu (*Arapaima gigas*) follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone β-subunit cDNAs. **PloS One**, 12, n. 8, p. e0183545, 2017.

SOUZA, C. A.; HASHIMOTO, D. T.; PEREIRA, L. H. G.; OLIVEIRA, C. *et al.* Development and characterization of microsatellite loci in *Phractocephalus hemioliopterus* (Siluriformes: Pimelodidae) and their cross-species amplification in six related species. **Conservation Genetics Resources**, 4, n. 2, p. 499-501, 2012.

SUPLICY, F. M. Freshwater fish seed resources in Brazil. *In*: M.G., B.-R. (Ed.). **Assessment of freshwater fish seed resources for sustainable aquaculture**. Roma: FAO, 2007. p. 129-143.

SWARÇA, A. C.; CESTARI, M. M.; GIULIANO-CAETANO, L. L.; DIAS, A. L. Cytogenetic characterization of the large South American siluriform fish species *Zungaro zungaro* (Pisces, Pimelodidae). **Chromosome Science**, 5, p. 51-55, 2001.

SWARÇA, A. C.; DIAS, A. L.; FENOCCHIO, A. S. Cytogenetic studies in the redtail catfish, *Phractocephalus hemioliopterus* (Bloch & Schneider, 1801) (Siluriformes, Pimelodidae) a giant fish from Amazon basin. **Comparative Cytogenetics**, 11, n. 1, p. 119-128, 2017.

TORATI, L. S.; LIMA, A. F.; GANECO-KIRSCHNIK, L. N.; MIGAUD, H. Endoscopy and Cannulation as Non-Invasive Tools to Identify Sex and Monitor Reproductive Development in *Arapaima gigas*. **Copeia**, 107, n. 2, p. 287-296, 2019.

TORATI, L. S.; MIGAUD, H.; DOHERTY, M. K.; SIWY, J. *et al.* Comparative proteome and peptidome analysis of the cephalic fluid secreted by *Arapaima gigas* (Teleostei: Osteoglossidae) during and outside parental care. **PloS One**, 12, n. 10, p. e0186692, 2017.

TORATI, L. S.; TAGGART, J. B.; VARELA, E. S.; ARARIPE, J. *et al.* Genetic diversity and structure in *Arapaima gigas* populations from Amazon and Araguaia-Tocantins river basins. **BMC Genetics**, 20, n. 13, p. 1-13, 2019.

TORATI, L. S.; TAYLOR, J.; MESQUITA, P. E. C.; MIGAUD, H. GnRHa implants and size pairing effects on plasma and cephalic secretion sex steroids in *Arapaima gigas*. **General and Comparative Endocrinology**, p. 113614, 2020.

TORATI, L. S.; VARGES, A. P. S.; GALVÃO, J. A. S.; MESQUITA, P. E. C. *et al.* Endoscopy application in broodstock management of *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). **Journal of Applied Ichthyology**, 32, p. 353-355, 2016.

URIBE, L. G. Ostracoda impairs growth and survival of *Arapaima gigas* larvae. **Aquaculture**, 505, p. 344-350, 2019.

VAN DAMME, P. A.; CARVAJAL-VALLEJOS, F. M.; CARPIO, J. M. **Los peces y delfines de la**

**amazonía boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas**. Cochabamba, Bolivia: Edit. INIA, 2011. (Recursos hídricos e hidrobiológicos de bolivia: Un enfoque continental.

VIALLE, R. A.; SOUZA, J. E. S.; LOPES, K. P.; TEIXEIRA, D. G. *et al.* Whole genome sequencing of the Pirarucu (*Arapaima gigas*) supports independent emergence of major teleost clades. 2018.

VITORINO, C. A.; NOGUEIRA, F.; SOUZA, I. L.; ARARIPE, J. *et al.* Low genetic diversity and structuring of the Arapaima (Osteoglossiformes, Arapaimidae) population of the Araguaia-Tocantins basin. **Front Genet**, 8, n. 159, p. 1-10, 2017.

WATANABE, L.; GOMES, F.; VIANEZ, J.; NUNES, M. *et al.* De novo transcriptome based on next-generation sequencing reveals candidate genes with sex-specific expression in *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), an ancient Amazonian freshwater fish. **PLoS One**, 13, n. 10, p. e0206379, 2018.

ZHANJIANG, L. **Next generation sequencing and whole genome selection in aquaculture**. Iowa: Wiley-Blackwell, 2011.

# CAPÍTULO 17

# PRÁTICAS REPRODUTIVAS DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS EM CATIVEIRO: TAMBAQUI E MATRINXÃ

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Alzira Miranda de Oliveira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Lábrea – Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-0513-5708

**Alexandre Honczaryk**
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-0741-0718

**Aline Telles Lima**
Universidade Federal do Amazonas – UFAM
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-3301-4380

**Alana Cristina Vinhote da Silva**
Universidade Nilton Lins
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-9906-6215

**Carlos Henrique dos Anjos dos Santos**
Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-5263-1539

**Rafael Yutaka Kuradomi**
Universidade Federal do Amazonas
Itacoatiara - Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-8579-2750

**Vivianne da Silva Fonseca**
Universidade Nilton Lins – UniNilton Lins
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-1674-6072

**RESUMO:** As principais espécies nativas utilizadas na criação de peixes, tambaqui e matrinxã, ainda não possuem pacote tecnológico próprio definido. Assim, sua produção é baseada na repetitividade e adaptações de protocolos desenvolvidos para outras espécies. Em relação a reprodução em cativeiro, adequações têm sido realizadas ao longo do tempo, nos últimos 20 anos, para favorecer a produção de alevinos. Assim, o manejo dos reprodutores conta com conhecimento da biologia das espécies e é aprimorada com as práticas vividas em campo, inclusive, pela correção das variáveis ambientais dos viveiros, para estabelecer um ambiente ótimo para espécie e, assim, favorecer o comportamento para viabilizar a reprodução. Dessa forma, durante o período reprodutivo e com a observação das características morfológicas externas das espécies, que apontam um período reprodutivo, os protocolos de indução são empregados. Para tambaqui e matrinxã o protocolo de indução mais utilizado é a aplicação de extrato bruto de hipófise, embora outros hormônios já sejam utilizados. Após extrusão, para ambas as espécies, tambaqui e matrinxã, o desenvolvimento dos ovos acontece rapidamente; entretanto, o cuidado necessário e o manejo adequado devem ser realizados. Por fim, as perspectivas para produção de espécies amazônicas, com a utilização das ferramentas genéticas apontam para a aplicação de programas de melhoramento genético.

**PALAVRAS-CHAVE**: Espécies Amazônicas, Práticas reprodutivas, Ferramentas genéticas.

## REPRODUCTIVE PRACTICES OF AMAZON SPECIES IN CAPTIVITY: TAMBAQUI AND MATRINXÃ

**ABSTRACT:** The most important fish species produced in fish farming are tambaqui and

matrinxã, they do not yet have their own defined technological package. Thus, their production is based on repeatability and adaptations of protocols developed for the other species. In relation to captive breeding, adjustments have been made over the time, in the last 20 years, in order to favor the fry production. Thus, the breeder management relies on the knowledge of the biology of the species and is improved by living practices in the field, including the correction of the environmental variables of the fish ponds, to set up an ideal environment for the species and, thus, promote the behavior to enable reproduction. Thus, during the reproductive period and with the observation of the external morphological characteristics of the species, which point to a reproductive period, the induction protocols are employed. For tambaqui and matrinxã the most used induction protocols is the application of the crude pituitary extract, although other hormones are already used. After stripping, for both species, tambaqui and matrinxã, the development of eggs happens quickly; however, the necessary care and proper management must be performed. Finally, the prospects for producing Amazonian species, using genetic tools, point to the application of animal breeding programs.
**KEYWORDS:** Amazonian species, Reproductive practices, Genetic tools.

## 1 I INTRODUÇÃO

Na Amazônia, o peixe é a principal fonte de proteína de origem animal consumida pela população. Nas regiões ribeirinhas, por exemplo, esse consumo pode ultrapassar os 100 kg *per capita* ao ano. Esse alto consumo pode ser explicado pela cultura local e pelas características regionais. Sobre as características regionais, a riqueza hídrica abriga uma alta diversidade de espécies de peixes,onde mais de 3.000 espécies já foram catalogadas, embora apenas cerca de 100 espécies, sejam exploradas comercialmente para o consumo, o que pode sobrecarregar os estoques naturais de espécies-alvo.

Diante desse cenário, a piscicultura que era vista como desnecessária na Amazônia, passou a ser vista como alternativa para contenção das pressões sobre os estoques naturais, bem como, uma alternativa para a promoção deuma oferta contínua de pescado. Desde a década de 80, a piscicultura regional tem se desenvolvido a passos largos, utilizando basicamente três espécies: Tambaqui (*Colossoma macropomum*); Matrinxã (*Brycon amazonicus*) e Pirarucu (*Arapaima gigas*). Embora as três espécies citadas apresentem potenciais similares, o tambaqui é a principal espécie cultivada na Amazônia.

Entretanto, ainda que tenha destaque, o tambaqui não possui um pacote tecnológico definido e os poucos protocolos de sucesso utilizados em sua criação, são oriundos de outras espécies aquícolas. Na reprodução em cativeiro, o protocolo utilizado é baseado na aplicação de hipófises, com concentrações de hormônios desconhecidas. Embora haja sucesso na reprodução do tambaqui em cativeiro, que inclusive é replicado na matrinxã, ainda pouco se conhece sobre o assunto, especialmente para as duas principais espécies cultivadas na Amazônia: tambaqui e matrinxã.

Outro ponto importante que deve ser pensado para as principais espécies criadas na Amazônia são as bases genéticas das populações em diferentes pisciculturas e informações fenotípicas dos reprodutores para que contribuam com programas de melhoramento genéticos para essas espécies. Nesse sentido, este capítulo reuniu informações sobre o manejo de reprodutores, comportamento reprodutivo, indução artificial, larvicultura e alevinagem de tambaqui e matrinxã, bem como tentou trazer bases genéticas para a

produção de espécies nativas.

## 2 I MANEJO DOS REPRODUTORES

Em cativeiro, o manejo dos reprodutores deve considerar, entre outros fatores, as características biológicas das espécies. Esse conhecimento, permite as adequações necessárias para favorecer o bem-estardos reprodutores para período reprodutivo.Em linhas gerais, todos os ambientes de confinamento, seja viveiro escavado, tanque de alvenaria ou tanque-rede, são considerados como inóspitos e estressantes pelos reprodutores, possivelmente por serem limitados e não permitirem a busca do ambiente ideal.

Assim, as adequações ambientais devem ser realizadas, afim de possibilitar o melhor ambiente a espécie. No caso da matrinxã,uma espécie de comportamento ativo e altamente dinâmico, os viveiros de manutenção de reprodutores necessitam ser mais profundos, preferencialmente de 1,80cm, pois sua alta atividade revolve a água, elevando a turbidez. Já para tambaqui, uma espécie menos ativa, os tanques podem apresentar uma profundidade menor (máximo 1,60 cm), para que não seja estabelecida a termoclina e as variáveis físicas e químicas da água possam ser mais homogêneas.

Para ambas as espécies, a densidade de estocagem deve de algo em torno de 1kg de biomassa para cada 10m$^2$ de área alagada. Além disso, práticas atuais indicam que o ideal são tanques onde a quantidade máxima de peixes não ultrapasse 30 indivíduos, visto que durante a seleção dos reprodutores maduros para indução, a aglomeração dos animais dentro da rede ocasiona um elevado nível de estresse, que geralmente causa efeitos deletérios, especialmente para a matrinxã.

No primeiro ano de vida futuros reprodutores devem receber alimentação moderada, para que não haja ganho de peso intenso e, assim, comprometam a densidade do tanque. Após esse período, os animais selecionados devem ser transferidos para novos tanques, onde receberão uma ração com alto teor de proteína bruta (40% PB), na proporção de 1% da biomassa, adotando os seguintes regimes alimentares: entre os meses de março e junho, os reprodutores devem ser alimentados em dias alternados, enquanto que no período entre julho e janeiro, devem ser alimentados diariamente.

Seguindo o protocolo descrito acima, é provável que ao final do segundo ano reprodutores de pequeno porte sejam percebidos, inclusive com características reprodutivas positivas para a indução. De forma geral, a seleção de reprodutores para a indução artificial obedece aos mesmos critérios já descritos para outras espécies, por meio das características de maturidade: fêmeas com ventre abaulado, macio e papila urogenital saliente; e machos que liberam uma pequena quantidade de sêmen por uma leve pressão no abdômen.

Após a seleção, os animais devem ser marcados e transferidos para o laboratório de reprodução ou estrutura similar, onde possa ocorrer a reprodução induzida. Vale ressaltar a estrutura básica desse local deve conter tanques de alvenaria; tanques de polietileno ou tanques de fibra de vidro, com capacidade entre 500 a 2000L, fluxo contínuo de água e aeração suplementar, para a acomodação adequada dos reprodutores e que a transferência dos animais, do viveiro ao laboratório, deve ser realizada da maneira menos estressante

possível, por isso é indicado que ocorra em caixas de transporte com aeração constante, sempre separando os machos e das fêmeas.

Por fim, buscando entender a eficiência reprodutiva de fêmeas de matrinxã induzidas com extrato da hipófise da carpa e submetidas a restrição alimentar, alguns autores reduziram em 50% a oferta de ração, durante quatro meses antes da indução a reprodução dos animais e observaram que as fêmeas restritas apresentaram uma melhor resposta ao indutor e ovos maiores, mas tiveram uma menor fecundidade reprodutiva, como consequência de um menor acúmulo de lipídios. Nesse sentido, podemos observar que o manejo dos reprodutores deve ser realizado de maneira que os deixem confortáveis e, assim, consigam se preparar para a reprodução de maneira a maximizar o desempenho reprodutivo.

## 3 I COMPORTAMENTO REPRODUTIVO

O comportamento reprodutivo de qualquer espécie é dependente das condições as quais são submetidas e do manejo empregado, como visto anteriormente. Espaço adequado, nutrição balanceada e excelente qualidade da água favorecem a maturidade sexual dos animais, garantindo o sucesso na reprodução em cativeiro. Em condições favoráveis, por exemplo, o tambaqui alcança a maturidade sexual efetiva entre o segundo e terceiro ano de vida e a matrinxã no segundo ano, quando estão confinados.

Embora a prática acima citada ocorra com mais frequência na atualidade, a piscicultura sempre contou com duas maneiras para obter reprodutores e manipular a reprodução em cativeiro. Captura de peixes adultos em ambientes naturais, antes e durante a estação reprodutiva foi, por muito tempo, a prática mais utilizada para produzir peixes em cativeiro na Amazônia. Entretanto, tal prática foi cada vez menos utilizada pelo estresse causado aos animais e que, devido a cascata de efeitos fisiológicos agudos, levavam 80% dos animais a morte.

Assim, técnicas consistentes de "*domesticação*" foram amplamente estudadas, no intuito de estabelecer protocolos que resultassem em sucesso reprodutivo. Estudos práticos mostraram que a diminuição da manipulação com os reprodutores,apresentou menos suscetibilidade ao estresse e maior docilidade dos animais, ao mesmo tempo em que apresentam melhores respostas reprodutivas.Estudos com desenvolvimento e o tempo de vida útil reprodutivo do tambaqui mostraram que a idade é um fator fundamental para a reprodução de tambaqui, mesmo quando os parâmetros ambientais são controlados.

A ampliação do período reprodutivo de tambaqui e matrinxã em cativeiro, práticas atuais têm demonstrado que o sucesso é dependente do manejo dos reprodutores. Fêmeas de matrinxã induzidas em setembro, por exemplo,podem estar novamente aptas para uma nova indução em dezembro, quando estocadas,de imediato,em novos tanques e com alimentação adequada. Já as fêmeas de tambaqui se apresentam novamente preparadas, dois meses depois da primeira desova, desde que acondicionadas em tanques amplos, com baixa densidade e alimentação adequada.

Em ambiente natural, é sabido que o período reprodutivo de ambas as espécies é marcado pelos deslocamentos rio acima, que precede a estação chuvosa, para que

ocorra o desenvolvimento das gônadas e maturação dos ovos. Em linhas gerais, o eixo endócrino-reprodutivo destas espécies são modulados pelas variáveis do ambiente que, em condições adequadas, garantem que a maturação e a reprodução ocorram ao mesmo tempo, maximizando o sucesso reprodutivo.

Em cativeiro, os reprodutores podem apresentar disfunção sexual total ou parcial, que são dependentes do ambiente em que estão confinados – uma vez que podem apresentar características distintas – ou ainda, do manejo inadequado empregado, que podem resultar desde uma redução na quantidade ou na qualidade dos gametas, até uma incapacidade total de desovar. Além disso, mudanças nas variáveis ambientais, podem ocasionar alterações fisiológicas e, por consequência, restrições reprodutivas.

A temperatura é, sem dúvida, uma das variáveis mais importantes durante a reprodução dos peixes. Consta na literatura que é essa variável que afeta diretamente o tempo de maturação dos gametas. Quando a temperatura está elevada, pode reduzir esse tempo de maturação, mas se a estiver baixa, pode aumentar. Para tanto, essa variável é medida como unidades térmicas acumuladas (UTA) ou hora-grau (H°), uma metodologia que utiliza o somatório de todas as temperaturas durante um determinado período de tempo, de hora em hora, com o objetivo de indicar o momento aproximado da ovulação das matrizes e definir o tempo certo para a extrusão dos gametas.

Entretanto, a metodologia “UTA” só começa a ser medida a partir da aplicação da dose decisiva de hormônios nos reprodutores. Espécies amazônicas, como a matrinxã e o tambaqui apresentam hora-grau de 140 a 180H° e 250 a 290 H°, respectivamente, na temperatura de 27 a 30°C. Alguns autores acreditam que nas regiões próxima da linha do equador, a temperatura da água apresenta pouca variação diária (menos de 1°C). Assim, sugerem que não há necessidade da medida da temperatura da água de hora em hora pois, em seus estudos, observaram que oito horas corridas pode ser considerada como tempo suficiente para a extrusão.

## 4 | INDUÇÃO ARTIFICIAL

A indução artificial é utilizada para viabilizar o processo reprodutivo da maioria das espécies criadas, devido a impossibilidade da reprodução natural em cativeiro. Nesse sentido, hipófise ou hormônios sintéticos são utilizados para contribuir com a maturação e, por conseguinte,com a viabilidade da reprodução. Assim, antes da escolha do protocolo de induçãose deve considerar vários fatores, entre os quais estão: a espécie, os custos e disponibilidade do hormônio,efeito fisiológico nos peixes, incubação dos ovos, equipamentos para o cultivo de larvas e treinamento, entre outros.

No Brasil, o principal protocolo utilizado na indução artificial do tambaqui utiliza o extrato bruto de hipófise de carpa (EBHC) macerada e diluída em soro fisiológico (0,7 - 0,9%).Para fêmeas duas doses são aplicadas, sendo a inicial de 0,5 $mg.kg^{-1}$ e a final de 5,0 $mg.kg^{-1}$ de peso vivo (PV), com intervalos de 12 horas. Já para os machos a literatura reporta dose única que varia entre 0,75 a 2,5 $mg.kg^{-1}$ de PV, no mesmo momento da dose final das fêmeas.

Embora o protocolo para os machos, descrito acima, já apresente eficácia. Um

protocolo diferente foi testado para macho de tambaqui, onde duas doses de 0,25 e 2,5 mg.kg$^{-1}$ de PV de EBHC, com intervalos de oito horas entre as doses, mostrou um aumento eficiente de 25 vezes no volume seminal e número de espermatozoides, além de apresentarem uma frequência menor de anormalidades espermáticas quando comparados aos não induzidos da mesma forma.

Os resultados positivos observados para o novo protocolo, descritos acima, se deve a hidratação causada pela indução hormonal com EBHC, que aumenta o volume do sêmen, o que facilita a coleta espermática através da massagem abdominal. Além da facilidade na coleta, este novo protocolo parece influenciar na menor incidência de anormalidades espermáticas, uma vez que os machos que não utilizaram o mesmo protocolo necessitaram de uma maior pressão na região abdominal, ocasionando uma maior deformidade nos espermatozoides e prejudicando a qualidade dos ovos.

O análogo de mGnRh de mamífero (Ovopel©) também já foi utilizado na indução artificial de tambaqui.Fêmeas de tambaqui receberam duas doses, uma única vez: 0,2 e 0,4 pellets.kg$^{-1}$ de peso corporal e, em ambas as doses, obtiveram fêmeas desovantes; entretanto, em termos de comparação, a menor dose de Ovopel® foi suficiente para uma indução bem-sucedida da reprodução. Para machos de tambaqui, também duas doses (únicas) 0,3 e 0,4 pellets.kg$^{-1}$ de Ovopel® foram testadas e resultaram em boas características seminais, como uma maior produção no número de espermatozoides.

Em comparação ao EBHC, o análogo de sGnRH (Ovaprim®) foi testado a partir de uma dose única de 0,5 mL.kg$^{-1}$, injetados em ambos os sexos de reprodutores de tambaqui. Os resultados obtidos mostraram efeito semelhante na produção e concentração de sêmen de machos e porcentagem de ovulação entre as fêmeas. Entretanto, o uso do Ovaprim®favoreceu o número de ovos produzidos (155,6 x10$^{3}$), embora as taxas de fertilização e eclosão tenham sido as piores, o que indica que o tratamento com Ovaprim® é eficaz na indução da desova, mas produz ovos de baixa qualidade.

Para matrinxã, o primeiro protocolo utilizou extrato de hipófise de curimbatá (*P. scrofa*) em uma única fêmea, por meio de uma dose total de 4,4 mg. Kg$^{-1}$, dividida em duas doses: 0,4 e 4,0 mg.Kg$^{-1}$, com intervalo de onze horas entre as aplicações. Após 8 horas e 30 min da segunda dose, em 212,5 horas-graus, ocorreu a extrusão dos oócitos, que obteve uma taxa de fertilização de 85%. Entretanto, vale ressaltar que não se pode afirmar a eficácia do extrato de hipófise de curimbatá na indução da espécie, uma vez que o estudo foi realizado somente com uma única fêmea.

Assim como relatado para o tambaqui, a indução artificial da matrinxã também é realizada utilizando extrato bruto de hipófise de carpa, inclusive com a mesma preparação e em duas doses nas fêmeas: 0,5 mg.Kg$^{-1}$ e 5,0 mg.Kg$^{-1}$, sendo que os intervalos variam entre oito e doze horas. Para os machos,uma dose única é administrada no mesmo momento da dose decisiva das fêmeas, com 1,0 a 2,5 mg.Kg$^{-1}$ de PV. Em protocolos inovadores, a dose total de 6,5 mg.Kg$^{-1}$ de PV, sendo a primeira 0,5 e a segunda 6,0 mg.Kg$^{-1}$, com intervalo de seis horas, resulta numa desova após cinco horas da segunda dose e uma taxa de fertilização em torno de 80%.

Na literatura, há relatos de que a administração de uma dosagem prévia de EBHC, pode trazer vantagens para a reprodução de matrinxã. Nesse sentido, êxitos foram obtidos

na utilização dose prévia de 0,25 mg.Kg$^{-1}$ de PVem fêmeas de matrinxã, com intervalo de 24 horas, seguido da segunda dose de 0,5 mg.Kg$^{-1}$, e doze horas depois, injetou-se a dose definitiva de 5 mg.Kg$^{-1}$, os machos receberam dose única de 1,0 mg.Kg$^{-1}$ de PV no mesmo momento da dose final das fêmeas. Esse protocolo garantiu ovulação de boa qualidade, além de possibilitar uma nova preparação dos reprodutores para uma nova indução no final do período reprodutivo.

Sobre a utilização dos análogos de GnRH, protocolo já utilizado como alternativos para espécies migradoras, para a matrinxã poucos relatos foram encontrados. O uso de um pellet.kg$^{-1}$ de PV de Ovopel© (análogo de GnRH de mamífero) em fêmeas de matrinxã, dividido em duas doses, com intervalo de 6 horas, favoreceu a desova de 60% das fêmeas. Já a utilização de 0,5 mL.Kg$^{-1}$de Ovaprim® não influenciou na porcentagem de anormalidades espermáticas, sendo um resultado importante para a indução artificial desta espécie, uma vez que essas anormalidades podem limitar a motilidade e o vigor dos espermatozoides, interferindo nas taxas de fertilização.

## 5 I LARVICULTURA E ALEVINAGEM

Para ambas as espécies, tambaqui e matrinxã, após a extrusão, o desenvolvimento dos ovos acontece rapidamente; geralmente, em 16 horas,em 26°C e;em 12 horas,em 28°C.Entretanto, para garantir sobrevivência e saúde das larvas, é necessário atender as principais exigências: temperatura ótima, sem flutuações bruscas;abundância de oxigênio e; remoção contínua dos metabólitos das incubadoras. No momento da eclosão, há necessidade de diminuir do fluxo de água da incubadora de 60 litros e retirar o filtro, para que as larvas possam ser transferidas lentamente para a incubadora de 200 litros. Cascas e ovos gorados, por serem mais pesados, fiquem retidos e permaneçam na incubadora de 60 litros.

Durante o período larval, que dura de 4 a 6 dias, as larvas utilizam a reserva vitelínica como alimento, para o desenvolvimento e o crescimento.Terminada a reserva de vitelo, começa a ingerir alimentos do meio ambiente. Neste momento,por apresentar bexiga natatória inflada e cheia, estão aptas a transferência para tanques de alevinagem. Nos tanques, por haver uma rica população de zooplâncton, há o preenchimento dos requerimentos nutricionais das espécies. Após três dias da tranferência, pode ser iniciada a alimentação suplementar, por meio de ração em pórica em proteína.

Quando a alevinagem é realizada corretamente: tanques bem preparados, rações qualitativamente e quantitativamente adequadas e densidade ideal, por exemplo; a tendência é que os alevinos sejam saudáveis e resistentes ao estresse dos manejos: biometria, despesca e transporte. Vale ressaltar que as informações corretas sobre o crescimento podem ser obtidas a cada 10 dias, por meio da biometria de uma amostra populacional. Geralmente, depois da transferência das incubadoras aos viveiros, mais ou menos, 18 dias para a matrinxã e 25 dias para o tambaqui, os alevinos estão prontos a serem preparados para comercialização e, portanto, podem ser despescados e transferidos para os tanques de depuração.

Um dia depois de serem acondicionados no tanque de depuração (ação de retirada de metabólitos, que são excretados na água e que podem se tornar tóxicos), os alevinos

"*depurados*" estão aptos a serem comercializados. Assim, os alevinos são contabilizados por meio de aproximação, com a utilização de peneira. Em seguida, os animais são embalados. Atualmente, a embalagem mais comum para o transporte de alevinos é composta de saco plástico de 60 litros, duplo, transparente, onde é adicionada a água de transporte (20 litros de água + 20 gramas de sal) e oxigênio puro. Por fim, ressalta-se que a densidade de peixes por embalagem é dependente do tamanho do alevino e do tempo de transporte.

## 6 | PERSPECTIVAS PARA PRODUÇÃO DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS: USO DE FERRAMENTAS GENÉTICAS

Nos últimos anos, devido o destaque da aquicultura na produção animal, comparada às outras atividades, estudos têm sido desenvolvidos em busca de protocolos, que possam otimizar essa atividade. Nesse sentido, programas de reconhecimento de parentesco têm sido considerados, uma vez que os animais geneticamente diferentes podem apresentar uma série de vantagens, entre as quais estão: alta adaptação as variações ambientais ou alta adaptação às condições dos sistemas de criação e melhores taxa de crescimento,que são alguns exemplos notáveis dos animais melhorados.

Basicamente, programas de melhoramento genético utilizam a seleção de animais com características fenotípicas vantajosas para cruzamento assistido. Para o tambaqui, como esse tipo de atividade é recente, estudos pontuais têm sido realizados. Estudos relacionados a características fenotípicas de reprodutores de tambaqui,das diferentes regiões do Brasil, por exemplo, mostraram que os reprodutores da região Norte apresentam características mais vantajosas para formar populações base. Além disso, outros estudos recentes, também com tambaqui, alertaram que não só os fenótipos devem ser considerados, mas também as características genéticas das populações naturais e de cativeiro, para que sejam observadas as relações de parentescos e níveis de variabilidade genéticas.

O conhecimento da base genética dos reprodutore sé um ponto importante, uma vez que estudos recentes têm mostrado perdas de diversidade genética nas populações bases de tambaqui das pisciculturas brasileiras. Entretanto, o aumento da endogamia tem sido relacionado ao tamanho reduzido dos planteis de reprodutores (efeito fundador), bem como aos sistemas de acasalamento adotadas pelos piscicultores. O grande problema relacionado é que a falta de conhecimento da genealogia dos casais, aumenta a endogamia, que pode causar percas nas taxas de crescimento, animais mais suscetíveis a doenças, peixes com malformações, entre outros.

Sobre as características fenotípicas, identificar os padrões corporais vantajosos são de grande importância para obter linhagens de elevado valor genético; porém, muitos fenótipos têm forte influência de uma rede gênica e necessitam ser melhor avaliados. Como exemplo recente, temos a população de reprodutores de tambaqui, que apresentou uma característica isolada em uma piscicultura do norte do Brasil.Nela, os indivíduos dessa população de reprodutores não apresentavam a espinha intramuscular "y" na região dorsal e, a partir de estudos genéticos, observou-se que uma rede gênica está envolvida na presença ou ausência dessa espinha em tambaqui.

Como na aquicultura ainda não foi possível gerar os "*pedigrees*" dos reprodutores, a

separação das matrizes por famílias tornou-se uma técnica viável e eficiente para programas de melhoramento.O estabelecimento do número de famílias necessárias para restringir a taxa de endogamia a <1% por geração é importante, e deve-se levar o menor tempo possível para formação de 50 a 100 famílias e o tamanho de cada família vai depender das espécies-alvo.

## REFERÊNCIAS


ARIAS-ACUÑA, J. J.; HERN´NADEZ-RANGEL, J. L. Efectos del extracto hipofisiario de carpa común y el análogo de la GnRH sobre la maduración final del oocito y el desove de la cachama negra (*Colossoma macropomum*). *Revista Científica FCV-LUZ,* 19: 486–94, 2009.

BERNADINO, G.; SENHORINI, J. A.; FONTES, N. A.; BOCK, C. L.; MENDONÇA, J. O. J. Propagação artificial do matrinchã, *Brycon cephalus*, (Guenther, 1869), (Teleostei, Characidae). *B. Téc. CEPTA*, Pirassununga, v.6, n.2, 1-9, 1993.

DE MORAIS, I.S.; O´SULLIVAN, F. L. de A. Biologia, habitat e cultivo do tambaqui *Colossoma macropomum* (CUVIER, 1816). Scientia Amazonia, v. 6, n. 1, 81-93, 2017. Revista on-line http://www.scientia-amazonia.org ISSN:2238.1910.

DOS SANTOS, A. M.; SOUZA, R. G. C. Monitoramento do desempenho reprodutivo do tambaqui cultivado em Presidente Médici (Rondônia). *ScientiaAmazonia*, v. 4, n.3, 13-20, 2015.

FONSECA, V. S. 2019. Efeito de diferentes indutores hormonais na reprodução artificial do matrinxã, *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz 1829).Tese (Programa de Pós-Graduação em Aquicultura). Universidade Nilton Lins, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 63f, 2019.

GOMES, L. C.; URBINATI, E. C. Matrinxã (*Brycon amazonicus*). In: BALDISSEROTO, B.; GOMES, L. C. (org.). **Espécies nativas para a piscicultura no Brasil**. – 2. ed. rev. e ampl. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2010.

HAMOY, I.G.; CIDADE, F.W.; BARBOSA, M.S.; GONÇALVES, E.C.; SANTOS, S. Isolation and characterization of tri and tetranucleotide microsatellite markers for the tambaqui (*Colossoma macropomum*, Serrasalmidae, Characiformes). Conservation Genetics Resources, 3(1): 33-36, 2011.

HONCZARYK, A. e INOUE, L. A. K. A. Produção comercial de alevinos de matrinxã na Amazônia Ocidental. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Circular Técnica, 06p, 2009.

HONCZARYK, A.; MARINHO-PEREIERA, T. 2014. Ampliação do período reprodutivo de *Brycon amazonicus* na Amazônia Ocidental. *In.*: Marinho-Pereira, T. (Org). Brycon amazonicus. Produção, reprodução artificial, transporte, sanidade e perspectiva. Novas Edições Acadêmicas. Saarbrucken, Deutschland/Niemcy. 128pg, 73-81.

HOUSTON, R.D.; BEAN, T.P.; MACQUEEN, D.J.; GUNDAPPA, M.K.; JIN, Y.H.; JENKINS, T.L.; SELLY, S.L.C.; MARTIN, S.A.M.; STEVENS, J.R.;SANTOS, E.M.; DAVIE, A.; ROBLEDO, D. Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. Nature Reviews Genetics. 21: 389-409, 2020.

IWERSEN LHL, MELO CMR, LAZOSKI C, ZANIBONI-FILHO E, RIBOLLI J. Genetic implications of restocking programas. Boletim do Instituto de Pesca, 45(3), 2019.

MARTÍNEZ, J.G.; MACHADO, V.N.; CABALLERO-GAITÁN, S.J.; SANTOS, M.C.F.; ALENCAR, R.M.; ESCOBAR-L, M.D.; HRBEK, T.; FARIAS, I.P. SNPs markers for the heavily overfished tambaqui *Colossoma macropomum*, a Neotropical fish, using next-generation sequencing-based de novo

genotyping. Conservation Genetics Resources, 9(1), 2017.

MELO, T.T. Caracterização fenotípica de reprodutores de tambaqui *Colossomamacropomum* (Cuvier, 1818), em diferentes regiões do Brasil: Subsídios para programa de melhoramento genético. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Aquicultura). Universidade Nilton Lins, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 48f, 2018.

MYLONAS, C. C.; DUNCAN, N. J.; ASTURIANO, J. F. Hormonal manipulations for the enhancement of sperm production in cultured fish and evaluation of sperm quality. Aquaculture, 2017.

NUNES, L. T.; SALMITO-VANDERLEY, C. S. B.; REIS, F. T.; NERES, R. W. P.; Da SILVA, S. Q. Reprodução de peixes reofílicos nativos do Brasil: fertilização artificial e qualidade da água. Rev. Bras. Reprod. Anim., Belo Horizonte, v.42, n.1, p.15-21, Jan. /Mar 2018. Disponível em www.cbra.org.br

OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, A. F. J.; VILLACORTA-CORREA, M. A. Sperm abnormalities in matrinxã *Brycon amazonicus* after hormonal treatment with carp pituitary extract Ovaprim™. Zygote 26: 279–285, 2018.

PARDO-CARRASCO, S. C.; ARIAS-CASTELLANOS, J. A.; SUÁREZ-MAHECHA, H.; CRUZ-CASALLAS, P. E.; VÁSQUEZ-TORRES, W.; ATENCIO-GARCIA, V.; ZANIBONI-FILHO, E. Inducción a la maduración final y ovulación del yamú *Brycon amazonicus* con EPC y mGnRH-a. Revista Colombian Ciencia Pecuaria, Vol. 19:2, 2006.

PERAZZA, C.A.; FERRAZ, J.B.S.; ALMEIDA-VAL, V.M.F.; HILSDORF, A.W.S. Genetic parameters for loin eye area and other body traits of an important Neotropical aquaculture species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). Aquaculture Research, 50(10): 2907-2916, 2019.

ROMAGOSA, E.; NARAHARA, M. Y.; BORELLA, M. I.; FENEREICH-VERANI, N. Seleção e caracterização de fêmeas de matrinxã, *Brycon cephalus*, induzidas a reprodução. Boletim do Instituto da Pesca, São Paulo, v.27, n.2, p.139-147, 2001.

SANTANA, G.X.; SANTOS, C.H.A.; SOUSA, C.F.S.; NASCIMENTO, P.R.M.; PAULA-SILVA, M.N.; SOUSA, A.C.B.; CAMPOS, T.; ALMEIDA-VAL, V.M.F. Isolation of novel microsatellite markers for tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818), an important freshwater fish of the Amazon. Conservation Genetics Resources, 4(1): 197-200, 2012.

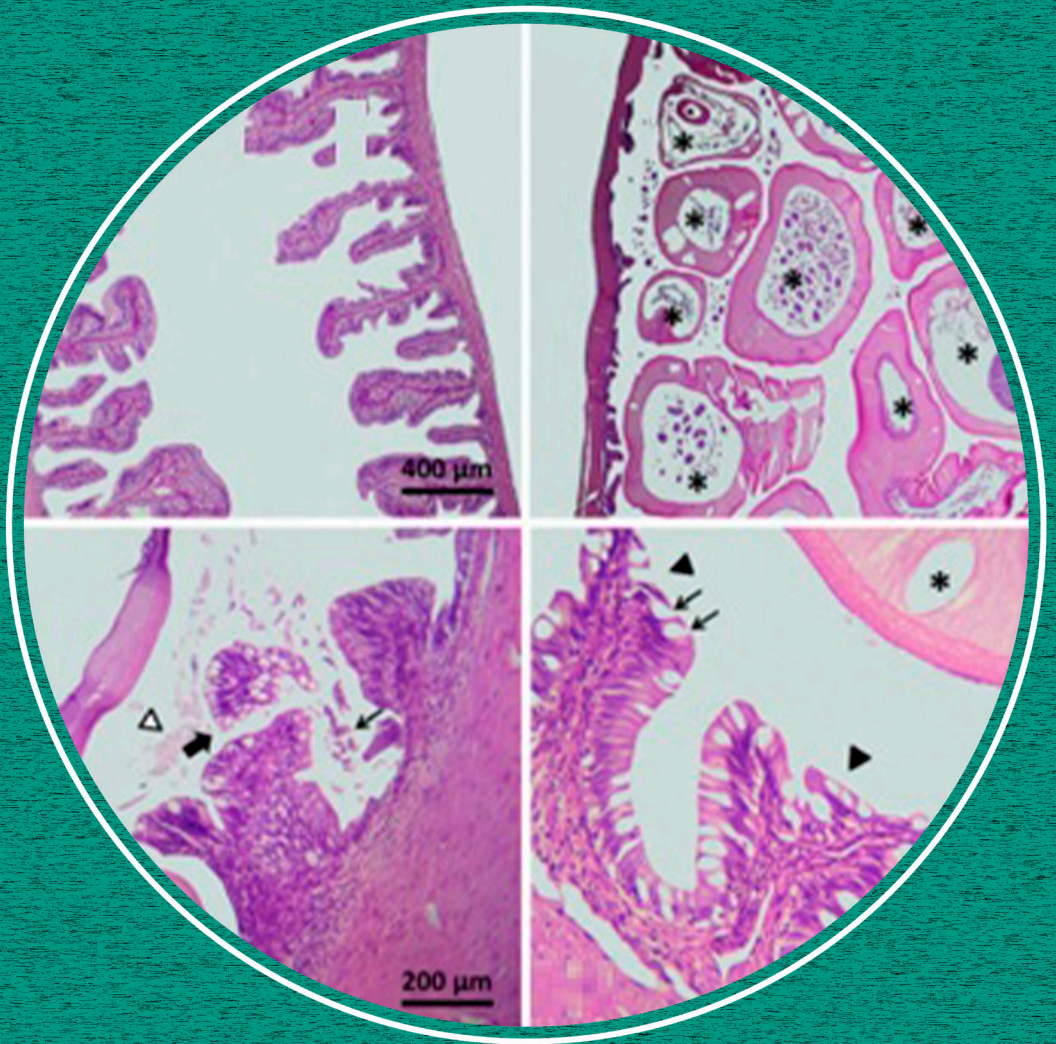
SOUZA, F. N; MARTINS, E. De F. F.; CORRÊA-FILHO, R. A. C.; De ABREU, J. S.; PIRES, L. B.; STREIT-Jr., D. P.; LOPERA-BARRETO, N. M.; POVH, J. A. Ovopel® and carp pituitary extract for induction of reproduction in *Colossoma macropomum* females. Animal Reproduction Science 195: 53–57, 2018.

TELLES-LIMA, A. Estudo sobre o retorno reprodutivo e recrudescência ovariana de fêmeas de tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818).Dissertação (Programa de Pós-Graduação de Ciências Pesqueiras nos Trópicos). Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias, 55f, 2019.

ZANIBONI-FILHO, E.; WEINGARTNER, M. Técnicas de indução da reprodução de peixes migradores. *Rev Bras. Reprod. Anim.*, Belo Horizonte, v.31, n.3, 367-373, 2007.

# FISIOLOGIA E SANIDADE AQUÍCOLA APLICADA NA PISCICULTURA

# SEÇÃO E

# CAPÍTULO 18

# FISIOLOGIA SANGUÍNEA DO PACU *Mylossoma duriventre* E DA PESCADA *Plagioscion squamosissimus*.

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Adriano Teixeira de Oliveira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-4988-9878

**Elson Antônio Sadalla Pinto**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/9786797594989755

**Ariany Rabello da Silva Liebl**
Universidade Federal do Amazonas-UFAM
Manaus - Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-5010-1294

**Jackson Pantoja-Lima**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Presidente Figueiredo – Amazonas
https://orcid.org/0000-0002-6449-4981

**Antônia Jaqueline Vitor de Paiva**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0003-4793-4903

**Paulo Henrique Rocha Aride**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
Manaus – Amazonas
https://orcid.org/0000-0001-9752-5003

**RESUMO:** *Mylossoma duriventre* pacu e *Plagioscion squamosissimus* pescada são peixes bastante consumido pela população e com potencial para a exploração em sistemas de criação na Amazônia. O presente trabalho tem por objetivo determinar o eritrograma e a bioquímica plasmática do pacu *M duriventre* e da pescada *P. squamosissimus*, que pode ser empregado como parâmetro para futuros sistemas de produção aquícola. Os animais foram capturados em lagos localizados no município de Juruá, Amazonas. Um total de 40 pacu e 40 pescada foram capturadas, medidos e tiveram o sangue colhido por punção do vaso caudal, os parâmetros fisiológicos foram determinados de acordo com metodologia previamente descrita na literatura. Os resultados demonstram que os espécimes de pacu são menores e mais leves, quando comparadas a pescada. De maneira geral o pacu apresentou valores da série vermelha superiores aos encontrados na pescada, indicando metabolismo mais acentuado o que reflete no hábito de vida da espécie, que é de natureza migradora. As variáveis referentes à bioquímica plasmática apresentaram enorme variação intraespecífica, principalmente para a glicose. As informações geradas no presente estudo são fundamentais para o monitoramento fisiológico e de saúde, para futuras estratégias de produção em cativeiro de *M. duriventre* e *P. squamosissimus.*

**PALAVRAS-CHAVE**: hematologia, piscicultura, intervalos, Amazônia.

## BLOOD PHYSIOLOGY OF THE PACU *Mylossoma duriventre* AND HAKE *Plagioscion squamosissimus*.

**ABSTRACT:** *Mylossoma duriventre* pacu and *Plagioscion squamosissimus* hake are fish widely consumed by the population and with potential for

exploitation in farming systems in the Amazon. This work aims to determine the erythrogram and plasma biochemistry of pacu *M duriventre* and hake *P. squamosissimus*, which can be used as a parameter for future aquaculture production systems. The animals were captured in lakes located in the municipality of Juruá, Amazonas. A total of 40 pacu and 40 hake were captured, measured and the blood was collected by puncturing the caudal vessel, the physiological parameters were determined according to the methodology previously described in the literature. The results show that pacu specimens are smaller and lighter when compared to hake. In general, pacu showed values of the red series higher than those found in hake, indicating a more marked metabolism which reflects in the species' life habit, which is of a migratory nature. The variables related to plasma biochemistry showed enormous intraspecific variation, mainly for glucose. The information generated in this study is essential for physiological and health monitoring, for future captive production strategies of *M. duriventre* and *P. squamosissimus*.
**KEYWORDS:** hematology, fish farming, intervals, Amazon.

## 1 I INTRODUÇÃO

A diversidade de peixes Amazônicos fascina acadêmicos e entusiastas da ictiologia no mundo todo e neste contexto os peixes que atingem um tamanho considerável ocupam uma posição destacada. Estes peixes, também despertam o interesse da aquicultura, devido a características de interesse zootécnico e apreço pela sua carne em mercados locais e grandes centros consumidores. Na Amazônia, existem quatro espécies de grande porte que merecem atenção como potenciais novas espécies para a piscicultura dos países que compartilham a bacia do rio Amazonas.

Na Amazônia, tradicionalmente a pesca sempre foi feita em regime extrativista, para consumo local, por conta dessa característica algumas das principais espécies de peixes tiveram suas populações reduzidas e em muitas localidades suas populações até desapareceram (Alcântara et al., 2015). Assim, uma alternativa para minimizar os efeitos da pressão pesqueira e da sazonalidade é a criação de organismos aquáticos em cativeiro, que além de propiciar melhor equilíbrio entre oferta e demanda no mercado regional, estabilizando os preços ao longo do ano, também poderá contribuir para incrementar a exportação (Pantoja-Lima et al., 2015).

Nesse sentido, a aquicultura vem crescendo na região e graças a técnicas modernas de produção em cativeiro, várias espécies de peixes locais passaram a ser introduzidas e comercializadas em outras áreas do país (Lima et al., 2020). No estado do Amazonas, Pantoja-Lima (2015) retrataram o cultivo de outras espécies nativas na piscicultura local, adicionais às espécies rotineiras nas pisciculturas, tais como o tambaqui *Colossoma macropomum,* pirarucu *Arapaima gigas* e matrinxã *Brycon amazonicus.*

Entre as várias espécies de peixes utilizadas na alimentação na Amazônia, que ainda não existe criação em cativeiro, destaca-se o pacu e a pescada. Pacu é o nome dado há pelo menos oito gêneros ao qual estão inseridas aproximadamente 30 espécies, sendo as mais comuns as pertencentes ao gênero Mylossoma, Myleus e Metynnis (Santos et al., 2009). As espécies de pacu pertencentes a estes gêneros possuem grande aceitabilidade como fonte de proteína animal, entre eles o *Mylossoma duriventre* que é um peixe bastante

consumido, alto sabor e rendimento de carne propício para a produção em cativeiro (Chamy et al., 2015). Outra espécie com potencial para a produção aquícola na Amazônia é a pescada *Plagioscion squamosissimus*, essa possui dimensões de médio até grande porte e um rendimento de filé cárneo bastante acentuado (Santos et al., 2009).

Nos peixes teleósteos as variáveis relativas à série vermelha dos peixes vêm sendo utilizadas no diagnóstico de processos anemiantes (Mahoney e McNulty, 1992; Tavares-Dias e Moraes, 2004), como indicadores da resposta sistêmica a estímulos externos (Mikryakov et al., 1993), enquanto os distúrbios osmoregulatórios (Davis, 1995) e o leucograma são empregados como auxílio no diagnóstico de processos infecciosos (Stoskopf, 1993; Tavares-Dias e Moraes, 2004) e outros estados de desequilíbrio homeostáticos. Assim a produção do sangue em peixes teleósteos ocorre nos tecidos mielóide e linfóides, pois, os teleósteos são desprovidos de medula óssea e de linfonodos (Tavares-Dias e Moraes, 2004).

Estudos prévios descreveram o eritrograma e o percentual de leucócitos em *Piaractus mesopotamicus* pacu oriundos de policultivo (Tavares-Dias et al., 1999) e de cultivo semi-intensivo (Ranzani-Paiva et al., 1998). Tavares-Dias e Mataqueiro (2004) descreveram em *P. mesopotamicus*, mantidos em cultivo intensivo, valores das características hematológicas e bioquímicas, nas quais se se distanciam daquelas descritas na literatura, os mesmos autores argumentaram que as variações interespecíficas podem ser ocasionadas por fatores como sazonalidade, reprodução, hábito alimentar, necessidades metabólicas de cada espécie e condições ecofisiológicas. No mesmo pacu *P. mesopotamicus* foram descritos altos valores do coeficiente de variação (CV%) das características hematológicas, bioquímicas e biométricas, tais variações individuais podem ser consideradas normais, pois os parâmetros biológicos em peixes não apresentam uma distribuição normal (Tavares-Dias e Mataqueiro, 2004).

Em um estudo conduzido na bacia do rio Solimões, Amazonas, com o *M. duriventre*, na qual variações intraespecíficas foram observadas para os parâmetros investigados, mas o hematócrito foi o parâmetro com menor variação (Chamy et al., 2015). O número de eritrócitos mostrou correlação altamente positiva com o hematócrito, também nas extensões sanguíneas foram quantificados e caracterizados linfócitos, monócitos, neutrófilos, eosinófilos e leucócitos granular PAS-positivo, mas houve predominância de linfócitos e neutrófilos, tais leucócitos apresentaram características similares a de outras espécies de serrasalmídeos (Chamy et al., 2015).

Apesar da grande importância da hematologia ainda são escassas as informações literária sobre teleósteos, especialmente aqueles referentes a populações naturais tais com o pacu *M. duriventri* e a pescada *P. squamosissimus*. As informações geradas pelo presente estudo serão essenciais para o estabelecimento de futuras estratégias de produção do pacu e da pescada em cativeiro, visto que, o entendimento dos aspectos hematológicos em peixes de vida livre é essencial para o monitoramento dessas espécies em futuras criações em cativeiro. O presente trabalho tem por objetivo determinar o eritrograma e a bioquímica plasmática do pacu *M. duriventre* e da pescada *P. squamosissimus*.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Um total de 40 animais, sendo 20 espécimes de pacu *M. duriventre* e 20 de pescada *P. squamosissimus*, foram capturados no baixo Rio Juruá, Amazonas, nas proximidades da cidade de Juruá, Amazonas. Os espécimes foram capturados com rede de malhadeira e o sangue foi coletado por punção do vaso caudal com seringas descartáveis contendo EDTA 10%. Em seguida, o sangue foi transferido para tubos Eppendorf devidamente identificados, que foram mantidos em refrigeração constante até o momento da determinação do eritrograma e da bioquímica plasmática. A determinação dos dados biométricos comprimento total (CT) e peso corpóreo foram determinados com o uso de fita métrica e balança portátil tipo pesola.

A série vermelha do sangue (eritrograma) se deu por meio da contagem de eritrócitos totais (RBC) que foi realizada em leitura ótica em câmara de Neubauer, após diluição de 200 vezes em solução de formol-citrato. A determinação da concentração da hemoglobina foi realizada pelo método da cianometahemoglobina com posterior leitura em espectrofotômetro. O hematócrito foi determinado pelo método do microhematócrito que corresponde à centrifugação (10.000 rpm por cinco minutos) de um dado volume de sangue em um capilar de vidro, seguido de leitura dos resultados em cartão padronizado.

A partir da determinação dos parâmetros hematológicos, foram calculados os índices hematimétricos: VCM, HCM e CHCM, que seguiram as recomendações de Wintrobe (1934). O VCM é a média do volume das células vermelhas do sangue, onde se relaciona através de uma razão entre hematócrito e o número total de eritrócitos. O HCM representa uma estimativa da concentração de hemoglobina presente em um único eritrócito, sendo dada pela razão entre a concentração de hemoglobina sanguínea e o número de eritrócitos. O CHCM é a proporção de hemoglobina solúvel em um volume equivalente a 100 mL de sangue total, sendo calculada pela razão entre a concentração da hemoglobina e o hematócrito.

Após a separação do plasma por meio de centrifugação os níveis plasmáticos de glicose, colesterol, proteínas totais e cloretos foram determinados com o uso de kits Doles, com leitura em aparelho de espectofotômetro. Os resultados foram apresentados sob a forma de média, desvio padrão (DP), mínimo, máximo e intervalo de confiança inferior e superior 95%.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros hematológicos normalmente apresentam variações interespecíficas e intra-específicas (Vuren e hatting, 1978; Ranzani-Paiva et al., 1998), essas são atribuídas a diferentes fatores, tais com fatores externos, variação genética e estresse causados pela captura e o manuseio (Kori-Siakpere, 1985; Tavares-Dias et al., 2001), entre eles os ocasionados pela retomada de amostras sanguíneas (Lusková, 1998; Tavares-Dias e Sandrin, 1998) que muitas vezes dificultam a determinação de intervalos hematológicos de referência.

No presente estudo os animais apresentaram as medidas (média ± DP; mínimo-máximo; limite inferior-limite superior 95%) conforme demonstrado na Tabela 1, na (Santos

et al., 2009). No presente estudo o pacu apresentou biometria similar a mesma espécie encontrada no médio Solimões, Coari, Amazonas. Para a pescada as variáveis biométricas estiveram dentro dos resultados encontrados por Carvalho et al., (2017), quando estudaram a mesma espécie (*P. squamosissimus*) oriundos de uma área de proteção ambiental do nordeste brasileiro.

Para as variáveis eritrocíticas foram demonstrados variações intraespecíficos (Tabela 2) a exemplo das informações também descritas por Tavares-Dias e Moraes (2004) que relataram variações intraespecíficas em varias espécies de peixes teleósteos dulciaquícolas. De maneira geral o pacu apresentou valores da série vermelha superiores aos encontrados na pescada, indicando metabolismo mais acentuado o que reflete no hábito de vida da espécie, que é de natureza migradora (Santos et al., 2009).

| Peixe | Variáveis | Média ± DP | Mínimo - Máximo | Inferior 95% - Superior 95% |
|---|---|---|---|---|
| Pacu | **CT (cm)** | 21,5 ± 1,5 | 19,0 – 23,5 | 20,4 – 22,6 |
| | **Peso (g)** | 228,0 ± 58,8 | 140,0 – 300,0 | 272,3 – 183,7 |
| Pescada | **CT (cm)** | 41,0 ± 6,5 | 30,0 – 48,0 | 36,4 – 45,7 |
| | **Peso (g)** | 794,0 ± 345,0 | 280,0 – 1.260,0 | 547,2 – 1.040,8 |

Tabela 1. Dados biométricos do pacu *M. duriventre* e pescada *P. squamosissimus* oriundos do baixo Rio Juruá, Amazonas.

Ao confrontar os resultados do eritrograma do pacu no presente estudo, com a mesma espécie oriunda do médio Solimões, foi observado similaridade entre todos os parâmetros propostos. Ademais, os valores do hematócrito foram superiores ao de outra espécie de pacu *Piaractus mesopotamicus* oriundas de pisciculturas, fato justificado pelos valores superior do VCM (Tavares-Dias e Mataqueiro, 2004).

Para a pescada os valores de hematócrito e VCM foram inferiores a outras espécies da ordem perciforme, tais com as espécies de tucunaré *Cichla monoculis, Cichla temensis* e *Cichla vazzoleri* (Castro et al., 2020).

| Peixe | Variáveis | Média ± DP | Mínimo - Máximo | Inferior 95% - Superior 95% |
|---|---|---|---|---|
| Pacu | **Ht (%)** | 45,2 ± 5,6 | 36,0 – 56,0 | 41,0 – 49,4 |
| | **Hb (g/dL)** | 8,9 ± 1,1 | 6,7 – 10,5 | 8,0 – 9,7 |
| | **RBC (milhões/uL)** | 2,4 ± 0,4 | 2,0 – 3,1 | 2,1 – 2,7 |
| | **VCM (fL)** | 191,0 ± 32,7 | 148,4 – 253,8 | 166,3 – 215,7 |
| | **HCM (pg)** | 37,8 ± 8,1 | 26,0 – 51,9 | 31,8 – 43,9 |
| | **CHCM (%)** | 19,7 ± 1,9 | 17,5 – 23,3 | 18,3 – 21,2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Pescada | **Ht (%)** | 34,4 ± 4,6 | 28,0 – 42,0 | 31,1 – 37,7 |
| | **Hb (g/dL)** | 5,5 ± 1,1 | 4,0 – 7,1 | 4,7 – 6,2 |
| | **RBC (milhões/uL)** | 1,8 ± 0,2 | 1,4 – 2,2 | 1,6 – 1,9 |
| | **VCM (fL)** | 197,4 ± 45,1 | 127,3 – 279,7 | 165,1 – 229,6 |
| | **HCM (pg)** | 31,5 ± 8,6 | 19,4 – 45,8 | 25,3 – 37,7 |
| | **CHCM (%)** | 16,1 ± 3,9 | 11,2 – 25,3 | 13,3 – 19,0 |

Tabela 2. Eritrograma do pacu *M. duriventre* e pescada *P. squamosissimus* oriundos do baixo Rio Juruá, Amazonas.

As variáveis referentes à bioquímica plasmática apresentaram enorme variação intraespecífica, principalmente para a glicose (Tabela 3). Para o pacu do presente estudo os níveis de glicose e cloretos são inferiores e os níveis de proteínas totais são superiores aos retratados para o pirarucu Arapaima gigas (Tavares-Dias et al., 2007). Os níveis de triglicerídeos e colesterol no pacu são inferiores aos retratados no tambaqui *Colossoma macropomum* (Tavares-Dias et al., 2003). Também foram retratados níveis inferiores de cloretos e de proteínas totais, quando comparado ao matrinxã *Brycon amazonicus* oriundo de sistema de piscicultura, indicando uma possível aumento das variáveis bioquímica quando o animal é oriundo de piscicultura, diferentemente do que se observa quando a espécie é oriunda de ambiente natural.

Para a pescada os valores de glicose e triglicerídeos foram superiores ao retratado para *C. monoculos, C. temensis* e *C. vazzoleri,* entretanto as demais análises mensuradas apresentaram valores similares (Castro et al., 2020), essas diferenças podem ser reflexões das diferentes localidades em que os animais foram capturados, vale ressaltar que e mambas as situações os animais foram oriundos de ambiente natural.

| Peixe | Variáveis | Média ± DP | Mínimo - Máximo | Inferior 95% - superior 95% |
|---|---|---|---|---|
| Pacu | **Glicose (mg/dL)** | 196,68 ± 59,66 | 111,08 – 261,27 | 154,0 – 239,36 |
| | **Proteínas totais (g/dL)** | 3,99 ± 0,19 | 3,66 – 4,26 | 3,83 – 4,15 |
| | **Triglicerídeos (mmol/L)** | 3,65 ± 1,34 | 1,32 – 5,57 | 2,70 – 4,61 |
| | **Colesterol (mmol/L)** | 3,12 ± 0,62 | 1,74 – 3,72 | 2,67 – 3,56 |
| | **Cloretos (mmol/L)** | 2,09 ± 0,21 | 1,70 – 2,43 | 1,93 – 2,25 |
| Pescada | **Glicose (mg/dL)** | 82,95 ± 16,88 | 52,98 – 103,59 | 68,84 – 97,05 |
| | **Proteínas totais (g/dL)** | 4,07 ± 0,82 | 3,35 – 5,76 | 3,48 – 4,62 |
| | **Triglicerídeos (mmol/L)** | 6,90 ± 2,72 | 3,51 – 10,78 | 4,96 – 8,85 |
| | **Colesterol (mmol/L)** | 0,49 ± 0,17 | 0,24 – 0,77 | 0,36 – 0,61 |
| | **Cloretos (mmol/L)** | 0,40 ± 0,14 | 0,13 – 0,62 | 0,30 – 0,50 |

Tabela 3. Bioquímica plasmática do pacu *M. duriventre* e pescada *P. squamosissimus* oriundos do baixo Rio Juruá, Amazonas.

## 4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações geradas no presente estudo são fundamentais para o monitoramento

fisiológico e de saúde, para que quando ocorra a produção em cativeiro do pacu *M. duriventre* e da pescada *P. squamosissimus* se tenha um parâmetro comparativo com espécies oriundas de ambiente natural, sendo assim contribuindo para o desenvolvimento do setor piscicola na região.

## REFERÊNCIAS


ALCANTARA, N.C.; GONCALVES, G.S.; BRAGA, T.M.P.; SANTOS, S.M.; ARAUJO, R.L.; PANTOJA-LIMA, J.; ARIDE, P.H.R. ; OLIVEIRA, A.T. 2015. Avaliação do Desembarque Pesqueiro (2009-2010) no Município de Juruá, Amazonas, Brasil. Biota Amazônia, 5: 37-42. http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n1p37-42

CARVALHO, I.F.S.;CANTANHÊDE, L.G.; SANTOS, N.B.; CARVALHO NETA, R.N.F.; ALMEIDA, Z.S. 2017. Biologia reprodutiva de *Plagioscion squamosissimus* (Pisces, Sciaenidae) em uma área de proteção ambiental do nordeste do Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, 43(2): 243 – 256. DOI: 10.20950/1678-2305.2017v43n2p243

CASTRO, P.D.S.; LADISLAU, D.; RIBEIRO, M.W.S.; LOPES, A.C.C.; LAVANDER, H.D.; BASSUL, L.A.; MATTOS, D.C.; LIEBL, A.R.S.; ARIDE, P.H.R.; OLIVEIRA, A.T. 2020. Hematological parameters of three species of tucunarés (*Cichla* spp.) from Lake Balbina, Presidente Figueiredo, Amazonas. Brazilian Journal of Biology, 80: 1-7. http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.219409

CHAMY, M.N.C.; PINTO-SOUZA, R.; COSTA, A.G.; TAVARES-DIAS, M. 2015. Hematologia do *Mylossoma duriventre* (serrasalmidae) da bacia do Rio Solimões, Amazônia central (Brasil). Veterinária e Zootecnia, 22: 597-606.

DAVIS, S.W. 1995. Values for selected serum analyses during-experimental Ichthyophthirius multifiliis infection of chanel catfish. J. Aquat. Anim. Health, 7: 262-264.

KORI-SIAKPERE, O. 1985. Haematological characteristics of *Clarias isheriensis* Sydenham. J. Fish Biol., 27: 259-63, 1985.

LIMA, C.A.S.; BUSSONS, M.R.F.M.; OLIVEIRA, A.T.; ARIDE, P.H.R.; O'SULLIVAN, F.L.A.; PANTOJA-LIMA, J. 2020. Socioeconomic and Profitability Analysis of Tambaqui *Colossoma macropomum* Fish Farming in the State of Amazonas, Brazil. Aquaculture Economics & Management, 1: 1-16. https://doi.org/10.1080/13657305.2020.1765895

LUSKOVÁ, V. 1998. Factors affecting haematological indices in free-living fish populations. Acta Vet. Brno, 67:249-255.

MAHONEY, J.B.; McNULTY, J.K. 1992 Disease-associated blood changes and normal seasonal hematological variation in winter flounder in the Hudson-Raritan estuary. Trans. Amer. Fish. Soc., v. 121, p. 261-268.

MIKRYAKOV, V.R.; PONYAKINA, I.D.; LEBEDEV, K.A.; BALABANOVA, L.V.; LAPIROVA, T.B.; SILKINA, N.I. 1993. Analysis of blood leukocytes for populations screening in ecological studies using crucian carp, Carassius carassius. J. Ichthyol., 33(2): 151-158.

PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S.M.; OLIVEIRA, A.T.; ARAUJO, R.L.; SILVA JUNIOR, J.A.L.; ROCHA, P.H.A. 2015. Pró-rural aquicultura: relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do estado do Amazonas, Brasil. Nexus, 1: 35-45.

RANZANI-PAIVA, M.J.T.; SALLES, F.A.; EIRAS, J.C.; EIRAS, A.C.; ISHIKAWA, C.M.; ALEXANDRINO, A.C., 1998. Análises Hematológicas de Curimbatá (*Prochilodus scrofa*), Pacu (*Piaractus*

*mesopotamicus*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*) das estações de piscicultura do Instituto de Pesca, Estado de São Paulo. Boletim do Instituto de Pesca, 25: 77-83.

SANTOS, G.; FERREIRA, E.; ZUANON, J. 2006. Peixes comerciais de Manaus. Manaus: IBAMA/AM, ProVárzea, 144 p.

STOSKOPF, M.K. 1993 Fish medicine. Philadelphia: W.B. Saunders Company, p. 88.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. 2004. Hematologia de Peixes Teleósteos. Ribeirão Preto, São Paulo, M. Tavares-Dias, 144 p.

TAVARES-DIAS, M.; MATAQUEIRO, M.I. 2004. Características hematológicas, bioquímicas e biométricas de *Piaractus mesopotamicus*. Acta Scientiarum. 26: 157 – 162.

TAVARES-DIAS, M.; BARCELLOS, J.F.M.; MARCON, J.L.; MENEZES, G.C.; ONO, E.A.; AFFONSO, E.G. 2007. Hematological and Biochemical Parameters for the Pirarucu (*Arapaima gigas*) Schinz, 1822 (Osteoglossiformes, Arapaimatidae) in net Cage Culture. Eletronic Journal of Ichthyology, 2: 61-68.

TAVARES-DIAS, M.; SANDRIM, E.F.S. 1998. Características hematológicas de teleósteos brasileiros. I. Série vermelha e dosagens de cortisol e glicose do plasma sangüíneo de espécimes de Colossoma macropomum em condições de cultivo. Acta Scientiarum, 20:157-160.

TAVARES-DIAS, M.; TENANI, R.A.; GIOLI, L.D.; FAUSTINO, C.D. 1999. Características hematológicas de teleósteos brasileiros. II. Parâmetros sangüíneos do *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes: Characidae) em policultivo intensivo. Revta bras. Zool., 16:423-431.

TAVARES-DIAS, M.; SANDRIM, E.F.S.; MORAES, F.R.; CARNEIRO, P.C.F. 2001. Physiological responses of “tambaqui” *Colossoma macropomum* (Characidae) to acute stress. Boletim do Instituto de Pesca, 27:43-48.

TAVARES-DIAS M.; SCHALCH, S.H.C.; MORAES, F.R. 2003. Hematological characteristics of Brazilian teleosts. VII. Parameters of seven species collected in Guariba, São Paulo state, Brazil. B. Inst. Pesca, São Paulo, 29(2): 109-115.

VUREN, J.H., HATTINGH, J. 1978. A seasonal study of the haematology of wild fish. J. Fish. Biol., 13:305-313.

WINTROBE, M.M. 1934. Variations on the size and hemoglobin content of erythrocytes in the blood of various vertebrates. Folia Haemat., 51: 32-49.

# CAPÍTULO 19

# IMUNOLOGIA DOS PEIXES AMAZÔNICOS: O QUANTO CONHECEMOS?

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Damy Caroline de Melo Souza**
Universidade Federal do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/9631298512269122

**Rafael Luckwu de Sousa**
Universidade Federal do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/1959959850368416

**Edsandra Campos Chagas**
Embrapa Amazônia Ocidental
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/5384445167700495

**Maria Cristina dos Santos**
Universidade Federal do Amazonas
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/4923902785529755

**RESUMO:** A Imunologia é a ciência que estuda os elementos celulares, moleculares e os mecanismos acionados, nas respostas imunes, frente ao contato com patógenos, ou às substâncias estranhas, ou na manutenção da homeostase do organismo. O estudo da Imunologia dos peixes começou a ser priorizado, principalmente, com o desenvolvimento da aquicultura e a crescente necessidade de se combater as doenças infecciosas que surgiam no ambiente de cultivo. Enquanto os estudos com espécies europeias e asiáticas têm se desenvolvido e mostrado que o sistema imune dos peixes teleósteos apresenta sua complexidade, os estudos sobre os componentes imunes presentes nas espécies amazônicas são muito escassos. Isto se reflete na falta de parâmetros disponíveis para uma avaliação mais refinada sobre a resposta inflamatória, o efeito do uso de imunoestimulantes e outros estudos que se apliquem sobre a imunidade dos peixes. Assim, conhecer os componentes e mecanismos imunes utilizados para debelar os agentes patogênicos, que acometem os peixes nativos criados em cativeiro, auxiliará tanto no diagnóstico como no tratamento dessas infecções e é um amplo campo de pesquisa a ser explorado.

**PALAVRAS-CHAVE**: sistema imune; componentes; teleósteos.

## IMMUNOLOGY OF AMAZONIAN FISHES: HOW MUCH DO WE KNOW?

**ABSTRACT:** Immunology studies cellular, molecular elements and activated mechanisms, in immune responses, in face of contact with pathogens, or foreign substances, or in the maintenance of the organism's homeostasis. The study of fish immunology received more attention, mainly, with the development of aquaculture and the growing need to combat such infectious diseases that arose in the farming environment. While studies with European and Asian species have increased and showed that immune system of teleost fish is complex, studies on the immune components present in Amazonian species are very scarce. This is evident in the lack of parameters available for a more refined assessment of the inflammatory response, the effect of immunostimulants and other studies that involves fish immunity. Thus, knowing the immune components and mechanisms used to quell pathogenic agents, which affect cultured native fishes, will help both in the diagnosis and in

treatment of these diseases and is a wide field of research to be explored.
**KEYWORDS:** immune system; components; teleost.

## 1 I INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da aquicultura e, consequente, aumento da ocorrência de doenças nos sistemas de cultivo, principalmente nos mais intensivos, evidenciaram a importância de se conhecer os componentes e mecanismos imunes das espécies cultivadas, a interação do hospedeiro com diferentes patógenos e fatores que podem modular positivamente ou negativamente o sistema imunológico dos peixes (VAN MUISWINKEL; NAKAO, 2014). As condições ambientais desfavoráveis e estressoras podem afetar o bem-estar dos peixes e consequentemente suprimir a resposta imune, tornando-os mais susceptíveis aos agentes patogênicos presentes no ambiente de cultivo.

As estimativas das perdas econômicas na produção global de peixes, devido aos agentes patogênicos, estão entre um a nove bilhões de dólares/ano, e no Brasil, a perda estimada chega a 84 milhões de dólares/ano (SHINN et al., 2015; TAVARES-DIAS; MARTINS, 2017). Assim, as doenças têm efeitos significativos no cultivo dos peixes e na sustentabilidade da produção, uma vez que, a morbidade e a mortalidade afetam a sua viabilidade econômica (TAVARES-DIAS; MARTINS, 2017).

No Brasil, os estudos envolvendo a imunidade de espécies nativas têm se tornado cada vez mais importante no cenário nacional pelo crescimento do cultivo de peixes, como, o tambaqui (*Colossoma macropomum*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e seus híbridos, além do potencial crescimento do cultivo de matrinxã (*Brycon amazonicus*) e pirarucu (*Arapaima gigas*) na Amazônia (VALLADÃO; GALLANI; PILARSKI, 2018). Apesar desse crescimento da piscicultura, são poucos os estudos acerca dos componentes imunes e dos mecanismos envolvidos nas respostas aos patógenos, nesses peixes nativos.

Portanto, no presente capítulo, para o entendimento do Sistema Imune serão usados exemplos, já descritos em outros peixes teleósteos, com objetivo de caracterizar, de forma sucinta, os mecanismos clássicos de resposta frente às infecções por micro-organismos e parasitas. No entanto, como não foram, ainda, elucidados todos os elementos e suas funções imunes, para os peixes, neste capítulo usaremos como base de conhecimento, sobre o Sistema Imune, os componentes e mecanismos descritos para mamíferos.

## 2 I SISTEMA IMUNE DOS PEIXES

O sistema imune, nos vertebrados, incluindo os peixes, é composto por órgãos primários e secundários, inúmeras células e moléculas que desempenham funções importantes como vigilância, para impedir o crescimento de células tumorais e infecções intracelulares; proteção do organismo contra agentes patogênicos e substâncias tóxicas; e na manutenção da homeostase. Para facilitar a didática, o Sistema Imune foi separado em Inato e Adaptativo, mas seus componentes atuam sempre em conjunto para cumprir suas funções fisiológicas.

## 2.1 Órgãos e tecidos linfoides

Os órgãos linfoides primários em mamíferos são a medula óssea e o timo. A medula óssea é responsável pela produção de todas as células imunes e pela maturação dos linfócitos B. Já, no timo, ocorre a maturação dos linfócitos T.

Os órgãos linfoides secundários, em mamíferos, são o baço, linfonodos, Tecidos Linfoides Associados à Mucosa (MALT) e nesses locais ocorre a apresentação de antígenos e a ativação da resposta imune adaptativa.

Ao contrário dos mamíferos, os peixes não possuem medula óssea e linfonodos. Os principais órgãos linfoides dos peixes são rim, baço e timo. Além destes, o fígado, a pele e o intestino também são considerados componentes importantes do sistema de defesa (Figura 1) (ZAPATA, 2006). O rim corresponde a medula óssea dos vertebrados superiores, é o principal local onde ocorre a hematopoiese, sendo dividido em porção anterior ou rim cefálico e posterior. O rim cefálico é o principal órgão linfoide responsável por alojar células fagocíticas, linfócitos de memória, além de ser o principal local de produção de anticorpos pelos linfócitos B (WHYTE, 2007; ZAPATA, 1996). O timo é um órgão linfoide primário localizado próximo à cavidade opercular cuja função é a produção e maturação de linfócitos T (BOWDEN; COOK; ROMBOUT, 2005).

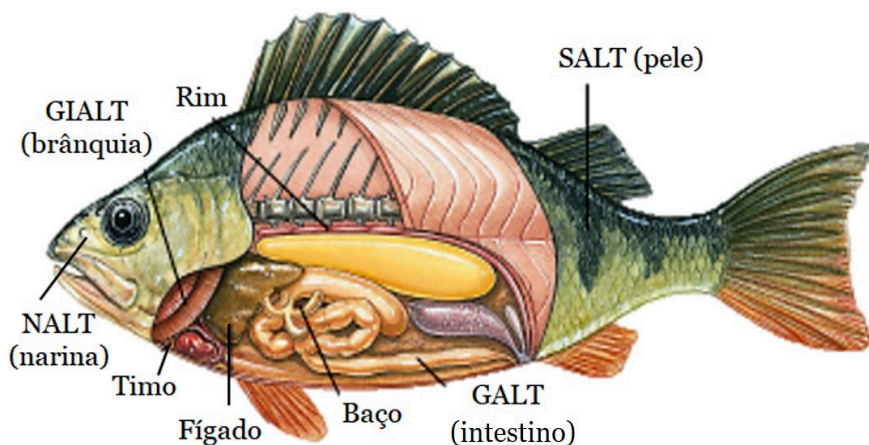



Figura 1. Órgãos e tecidos linfoides descritos em peixes teleósteos.

Fonte: Adaptado de Kum e Sekkin (2011).

O baço, nos peixes, desempenha as funções de órgãos linfoides primário, por produzir células imunes (hematopoiese) e de secundário, pois neste órgão ocorre a apresentação de antígenos, iniciando a resposta imune adaptativa e a produção de anticorpos, além de abrigar linfócitos B maduros (MANNING; NAKANISHI, 1997; BROMAGE et al., 2004; WHYTE, 2007). O fígado, nos peixes teleósteos, também é um órgão imune secundário, além de exercer a função de produtor de proteínas do Sistema Complemento e de fase aguda, envolvidas na inflamação, sendo essa última função observada também em

mamíferos (BILLER-TAKAHASHI; URBINATI, 2014).

Nos teleósteos, o MALT (Tabela 1) constitui uma importante barreira inicial à invasão de patógenos e pode ser subdividido conforme sua localização anatômica em: NALT, tecido linfoide associado à nasofaringe, SALT, tecido linfoide associado à pele; GIALT, tecido linfoide associado às brânquias e GALT, tecido linfoide associado ao intestino (SALINAS, 2015).

| MALT | Teleósteo (truta arco-íris) | Mamífero |
|---|---|---|
| Nomenclatura | NALT (narina), SALT (pele), GIALT (brânquias), GALT (intestino) | NALT (narina), BALT (brônquios), GALT (intestino), VALT (urogenital) |
| Estruturas associadas | Lâmina própria, tecido linfoide interbranquial | Folículos na lâmina própria, Tonsilas, Placas de Peyer |
| Células imunes residentes | Linfócitos B, linfócitos T, plasmócitos, macrófagos, neutrófilos, células *rodlets* | Células linfoides Inatas, linfócitos B, linfócitos T, plasmócitos, células dendríticas, macrófagos, neutrófilos |
| Células captadoras de antígenos | Células dendríticas | Células M, Células dendríticas |

Tabela 1. Comparação entre o tecido linfoide associado a mucosa (MALT) de peixes teleósteos e mamíferos.

Fonte: Adaptado de Salinas (2015)

## 2.2 Sistema Imune Inato

O Sistema Imune Inato (SII) é descrito como a primeira linha de defesa do organismo, apresentando barreiras: físicas, químicas e microbiológicas. Nos peixes ósseos as barreiras físicas são: pele e escamas, e as químicas, muco e os seus componentes antimicrobianos, por exemplo, lisozimas, peptídeos antimicrobianos, lectinas, imunoglobulinas, proteínas do Sistema Complemento, sendo estes responsáveis por impedir o livre acesso dos agentes patogênicos ao hospedeiro (URIBE et al., 2011). Dentre os componentes solúveis, a lisozima é uma enzima presente nos peixes com a capacidade de lisar bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. A lisozima pode se originar de várias fontes, como monócitos ou macrófagos, eosinófilos presentes no intestino e neutrófilos (GRINDE et al., 1988; LIE et al., 1989). Estes componentes solúveis presentes no muco também são importantes para a manutenção da homeostase com a microbiota comensal (barreira microbiológica), presente nas mucosas dos peixes (SAURABH; SAHOO, 2008; MAGNADÓTTIR, 2010; GÓMEZ et al., 2013).

Após a ultrapassagem dessas barreiras os micro-organismos que invadem o organismo, pela primeira vez, encontram as células residentes do SII, por exemplo, macrófagos, mastócitos e células dendríticas. Estas células imunes reconhecem os *Padrões Moleculares Associados aos Patógenos* (PAMP) desses invasores por meio de *Receptores de Reconhecimento de Padrões* (PRR). Os PAMP são estruturas conservadas,

vitais, que não sofrem mutações e que estão presentes em grupos de micro-organismos, como, LPS em bactérias Gram-negativas, Flagelina, RNA fita simples em vírus, RNA fita dupla em vírus, DNA com motivos cpg em vírus e bactérias.

Portanto, os PRR, reconhecem uma ampla variedade de patógenos, que apresentam esses padrões moleculares. Após este reconhecimento, vias de sinalização intracelulares são ativadas e induzem a liberação de citocinas - proteínas que atuam designando funções às próprias células que as secretam (ação autócrina) e/ou às células vizinhas (ação parácrina) e/ou às células adjacentes (ação justácrina) e/ou às células, tecidos ou órgãos distantes (ação endócrina)- e quimiocinas recrutam células, que possuem receptores para essas proteínas, por exemplo, monócitos, neutrófilos, basófilos, natural killers, dentre outras, para o local da infecção, para combater os agentes patogênicos (KAUR; SECORD, 2019).

Nas diferentes espécies de peixes, os receptores de reconhecimento de padrões (PRR) são um aspecto importante da imunidade inata, pois, como já mencionado, reconhecem estruturas vitais de uma variedade de micro-organismos como vírus, bactérias e parasitas, que existem no ambiente aquático (SECOMBES; WANG, 2012). Os PRR solúveis nos fluidos corpóreos ou presentes nas membranas, citosol ou endossomas de células de defesa são essenciais para o reconhecimento de PAMP, para o desencadeamento e direcionamento da resposta imune efetiva (SMITH; RISE; CHRISTIAN, 2019). Por exemplo, quando há a infecção por bactérias, os lipopolissacarídeos presentes em suas membranas podem estimular a ativação da via Alternativa do Sistema Complemento. O C3 em peixes teleósteos, assim como nos vertebrados, participa da ativação das três vias do Sistema Complemento (Alternativa, Clássica e da Lectinas) e é capaz de estimular a fagocitose, pela opsonização de bactérias por meio de C3b, e atrair neutrófilos e monócitos, pela produção das anafilatoxinas C3a, C5a e C4a, para o sítio da inflamação (JENKINS; OURTH, 1993; HOLLAND; LAMBRIS, 2002).

Similar aos mamíferos, nos peixes teleósteos, as células do SII podem ser residentes nos tecidos periféricos ou serem recrutadas da circulação sanguínea ou produzidas pelo rim cefálico, mediante um processo inflamatório. As células de defesa como células dendríticas, monócitos/macrófagos, leucócitos polimorfonucleares, linfócitos, também foram descritas para os peixes teleósteos e participam da resposta imune inata frente a patógenos ou substâncias estranhas ao organismo (MAGNADÓTTIR, 2006). Nos peixes teleósteos também foram descritos diferentes tipos de leucócitos, como células granulocíticas especiais eosinofílicas (CGE), que apresentam algumas similaridades com mastócitos (TAVARES-DIAS; SANDRIM; CAMPOS-FILHO, 1999; MARTINS et al., 2009) e células *rodlets*, um tipo celular descrito apenas em teleósteos, que parecem estar associadas às infecções por parasitas multicelulares (REITE; EVENSEN, 2006; MENDONÇA et al., 2017).

### 2.3 Sistema imune adaptativo

As principais células da imunidade adaptativa são os linfócitos T auxiliares, T citotóxicos e os linfócitos B2. Os seus receptores de antígenos são montados na linhagem somática pela escolha individual de seus blocos gênicos - V (variabilidade), D (diversidade) e J (junção) -, que compõem a região de reconhecimento do epítopo antigênico. Portanto, cada linfócito apresenta uma especificidade própria a um determinado epítopo e, por isso,

ao encontrar o seu antígeno, deverá expandir o seu clone e gerar células efetoras e de memória. Assim, como em mamíferos, os peixes ósseos possuem genes de ativação de recombinação, que codificam as enzimas, RAG1 e RAG2, responsáveis pelo rearranjo somático dos segmentos de gene V, D e J, produzindo uma grande diversidade de receptores de antígenos expressos nas membranas dos linfócitos T (TCR) e B (BCR), ou secretados pelos linfócitos B, as imunoglobulinas (WILLETT et al., 1997).

As células dendríticas (DC), em mamíferos, logo após a captura de antígenos, migram, através dos vasos linfáticos, para o órgão linfoide secundário mais próximo, para apresentar os epítopos (peptídeos oriundos do processamento do antígeno) no contexto do MHC (Complexo Principal de Histocompatibilidade) aos linfócitos T, que apresentam receptores com afinidade para esses epítopos. Portanto, as DC são as principais APC (células apresentadoras de antígenos), que fazem o elo entre o SII e SIA (DESCOTES, 2014; GEISSMANN et al., 2010) e direcionam a resposta imune eficaz, para debelar o patógeno invasor, por meio das citocinas liberadas aos linfócitos $T_H0$ antígenos-específicos (Figura 2). Essas proteínas secretadas, induzem a diferenciação dos $T_H0$ nas linhagens: $T_H1$, $T_H2$, $T_H17$, $T_H9$, $T_H22$, Tfh ou $T_{reg,}$ descritas para mamíferos. Além das citocinas ocorre, ainda, um segundo sinal, para a diferenciação dos linfócitos $T_H0$, que é emitido pelas moléculas co-estimuladoras, B7 e B7-1, presentes nas membranas das DC, que se ligam a molécula CD28, da membrana plasmática dos linfócitos TCD4 (WALSH; MILLS, 2013; RAPHAEL et al., 2015).

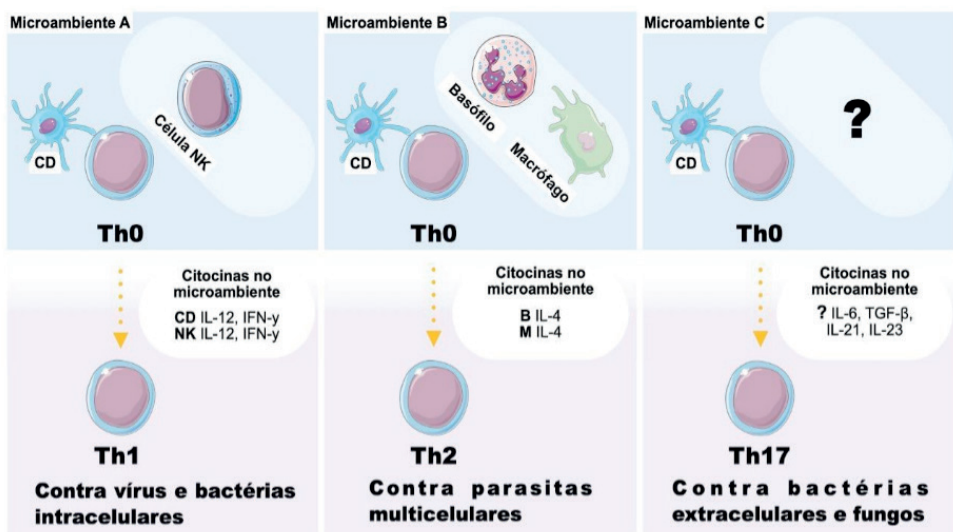
Estudos genéticos demonstraram que a maioria das famílias de citocinas, descritas para mamíferos, também está presente nos peixes, associadas à resposta imune inata, como IL-1, IL-6, TNF-α, e à resposta imune adaptativa, por exemplo, IL-2, IL-4, IL-5, IL-13, IFN-γ, TGF-β (ZOU; SECOMBES, 2016).



Figura 2. Microambientes necessários para diferenciação dos linfócitos Th0 nas subpopulações Th1, Th2 e Th17.

Fonte: Bruce e Brown (2017); Secombes et al. (2009); Yamaguchi et al. (2013).

Após reconhecer o antígeno apresentado pelas APC, os linfócitos T ativados entram em mitose, expandem o seu clone, formando as células efetoras e de memória. Concomitantemente a drenagem das DC, antígenos opsonizados também são transportados e chegam na região de linfócitos B, na qual são apreendidos por Células Dendríticas Foliculares, que os mantêm íntegros para o reconhecimento dos linfócitos B. As células B que apresentam receptores de membranas com afinidade, reconhecem, endocitam, processam e apresentam, no contexto MHC-II, os epítopos oriundos desses antígenos para os linfócitos TCD4 (auxiliares) efetores, que liberam sinais estimuladores e citocinas, que auxiliam os linfócitos B a expandirem os seus clones e transformá-los em plasmócitos secretores de anticorpos e células de memória. As células de memória dos linfócitos T e B, permanecem circulando os órgãos linfoides secundários e atuam mais rápida e eficazmente em uma segunda infecção, com o mesmo patógeno ou antígeno (NICHOLSON, 2016; JAIN; PASARE, 2017). Vale ressaltar, que todas as respostas aos patógenos intracelulares e extracelulares, em mamíferos, desencadeiam a produção de anticorpos (NUTT et al., 2015; ZHANG; GARCIA-IBANEZ; TOELLNER, 2016).

Como mencionado para os linfócitos B antígenos-específicos, os linfócitos TCD8 (citotóxicos) também são ativados, nos órgãos linfoides secundários, pelas DC, de acordo com a natureza do invasor intracelular. As citocinas interleucina 12 (IL-12) e o interferon gama (INF-Y) produzidas por células do sistema imune inato como DC e NK, respectivamente, induzem a diferenciação de $T_H0$ para linfócitos $T_H1$, quando os patógenos são intracelulares como vírus e algumas bactérias. Os $T_H1$ efetores liberam INF-Y que ativa os linfócitos TCD8 citotóxicos específicos para o patógeno intracelular a eliminar as células infectadas, além de ativar macrófagos para aumentar o seu poder fagocítico (MURPHY; REINER, 2002; YAMANE; PAUL, 2013).

Já, na presença da citocina IL-4, liberada por mastócitos e basófilos, o $T_H0$ se diferencia em $T_H2$ e atua predominantemente, no direcionamento da resposta imune para o combate de parasitas multicelulares. Quando as citocinas IL-6, do fator de crescimento beta (TGF-β), IL-21 e IL-23 são secretadas, os linfócitos $T_H0$ se diferenciam em $T_H17$, induzem uma potente resposta inflamatória, a qual recruta neutrófilos para combater bactérias extracelulares e fungos.

A linhagem Tfh (auxiliares foliculares), descrita para mamíferos, é produzida em todas as respostas efetores de $T_H1$, $T_H2$, $T_H17$, $T_H9$ ou $T_H22$ e as células Tfh permanecem na região dos linfócitos B, nos órgãos linfoides secundários, para auxiliar a produção de classes de imunoglobulinas eficazes para cada resposta, e, ainda, ajudam na melhoria da afinidade dos sítios de ligação com o antígeno. Além dessas linhagens, os linfócitos T CD4 virgens, na presença de TGF- β, também pode tornar-se células Treg, que liberam citocinas como IL-10, IL-35 e TGF-β com funções imunossupressoras e anti-inflamatórias (BLUESTONE et al., 2009; SCHMITT; UENO, 2015).

Semelhantes aos de mamíferos, os linfócitos T ativados pelas APC emitem sinais e liberam citocinas, que induzem a expansão clonal dos linfócitos B, que se ligam ao antígeno, e a produção imunoglobulinas classe específica para o invasor, nos fluidos corporais do peixe, caracterizando a resposta imune humoral (YE et al., 2013). Além da produção de anticorpos (ou imunoglobulinas) e formação de células B de memória (WU et al., 2019), os linfócitos B, presentes no rim cefálico e nos tecidos periféricos dos peixes teleósteos,

apresentam capacidade fagocítica parecendo ser equivalente aos neutrófilos em algumas espécies, como salmão (*Salmo salar*) e bacalhau (*Gadus morhua*) (ØVERLAND et al., 2010).

As imunoglobulinas são as principais mediadoras da resposta imune específica, pois são responsáveis pelo reconhecimento e a neutralização do antígeno. Algumas classes de imunoglobulinas atuam como opsoninas facilitando a fagocitose, e/ou no processo de citotoxicidade mediada por anticorpos (ADCC), e/ou ativando a via Clássica do Sistema Complemento e, dessa forma, auxiliando na eliminação de patógenos ou de toxinas circulantes. (MASHOOF; CRISCITIELLO, 2016). As imunoglobulinas descritas para os peixes teleósteos são as das classes IgM, IgD e IgT/IgZ. Em diferentes proporções, elas são encontradas nos diferentes órgãos como pele, brânquias, intestino, bile, rim, e no plasma dos peixes (YE et al., 2013).

A classe IgM é mais abundante no plasma, mas também está presente no muco, sendo encontrada em todas as espécies de peixes já estudadas (ACTON et al., 1971; MAGNADÓTTIR, 1998; BILAL et al., 2019). A IgT/IgZ está presente em menor concentração no plasma e mais abundante no MALT, sendo associada a imunidade das mucosas nos peixes teleósteos, similar à classe IgA dos mamíferos (ZHANG et al., 2010; VELÁZQUEZ et al., 2018). A IgD foi primeiramente descrita no bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), e depois em outras espécies como bacalhau do Atlântico (*Gadus morhua*) e salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (WILSON et al., 1997; HORDVIK et al., 1999; STENVIK; JORGENSEN, 2000). Esta imunoglobulina pode ser encontrada no plasma, rim anterior e posterior, baço e brânquias, porém sua participação na resposta imune ainda não foi elucidada (EDHOLM et al., 2010; BENGTÉN; WILSON, 2015).

Em algumas espécies de peixes teleósteos como truta arco-íris (*Onchorhynchus mykiss*), alabote-japonês (*Paralichthys olivaceus*), *zebrafish* (*Danio rerio*) e carpa-capim (*Ctenopharyngodon idellus*) já foram descritos a presença de um receptor polimérico de imunoglobulinas (pIgR) (KONG et al., 2018). Estes receptores são expressos pelas células epiteliais da pele, intestino e hepatócitos, cuja função é transportar as imunoglobulinas, produzidas por plasmócitos e secretados na lâmina própria do tecido epitelial, para o muco intestinal ou das brânquias ou para a bile (ROMBOUT et al., 2011).

## 3 | A IMUNOLOGIA DOS PEIXES AMAZÔNICOS

O estudo da Imunologia nos peixes partiu do referencial sobre o que já se conhecia nos vertebrados superiores, principalmente, nos mamíferos. Ao longo do tempo, percebeu-se que diversos componentes, como: células, moléculas e processos imunológicos tanto da resposta imune inata quanto adaptativa foram conservados ao longo da evolução, com certas particularidades espécie-específicas, o que despertou um crescente interesse pelo estudo da Imunologia comparada utilizando algumas espécies de peixes como modelos evolutivos (RAUTA; NAYAK; DAS, 2012).

Além disso, nas últimas décadas, com a expansão da aquicultura, o número de espécies sendo incluídas em diferentes sistemas de cultivo também cresceu, impactando diretamente no aumento dos estudos sobre a imunidade dos peixes. Estes estudos foram,

e ainda são, desenvolvidos principalmente com espécies europeias e asiáticas de alto valor econômico (VAN MUISWINKEL; NAKAO, 2014). Cada vez mais demonstra-se que o sistema imune das diferentes espécies de peixes apresenta certos padrões de componentes e de respostas imunes, ao mesmo tempo que há adaptações espécie-específicas, por exemplo, de acordo com o hábitat, hábito alimentar, patógenos que as infectam e aspectos reprodutivos.

A realidade para os estudos da Imunologia dos peixes amazônicos é bem diferente. Por exemplo, na espécie *Colossoma macropomum*, a espécie mais estudada, existem poucos trabalhos que abordam os componentes do Sistema Imune. A maior parte dos trabalhos enfatiza os tratamentos (92%) e diagnósticos (2%) contra possíveis agentes patogênicos que possam causar danos aos peixes na fase de cultivo (SOUSA et al., 2020). Porém, a falta de artigos relacionados à imunidade do tambaqui limita o desenvolvimento de inovações biotecnológicas para a melhoria da criação dessa espécie. Os estudos com o pirarucu (*Arapaima gigas*) e matrinxã (*Brycon amazonicus*) mostram-se ainda mais escassos.

Um levantamento dos componentes imunes básicos para a caracterização da resposta imune, que já foram descritos para outras espécies de peixes teleósteos cultivados, são apresentados na Tabela 2, resumindo as principais informações discutidas ao longo deste capítulo. A partir desse levantamento, ficou evidente o quanto se desconhece dos componentes imunes das espécies de peixes nativas da Amazônia. De fato, vários estudos abordando alterações histopatológicas e hematológicas (DIAS et al., 2011; AGUIAR et al., 2018; ROCHA et al., 2018) buscam descrever os processos inflamatórios desencadeados pelas infecções nessas espécies. Porém, não foram observados, nestes estudos, os componentes celulares e moleculares que participam destas respostas inflamatórias e imune, sendo estas informações complementares e necessárias para o diagnóstico seguro e a prescrição de tratamentos eficazes, para debelar os agentes patogênicos que acometem os peixes nativos criados em cativeiro.

| **Componente imune** | **Estudos com peixes teleósteos** | **Colossoma macropomum** | ***Brycon amazonicus*** | ***Arapaima gigas*** | **Referências** |
|---|---|---|---|---|---|
| Órgãos imunes primários e secundários | Pronefro (cabeça do rim), timo, baço, fígado, Tecido Linfóide Associado a Mucosa | Rim, Fígado, Baço, Timo | Rim, Fígado, Baço | Rim, Baço | Benacon et al. (2015); Bruce e Brown (2017); Maciel et al. (2012); Rauta, Nayak e Das (2012); Rocha (2001) |
| Células da imunidade inata | APCs (macrófagos, células dendríticas) monócitos granulócitos (neutrófilos, basófilos, eosinófilos), células *natural killer* | Neutrófilos, Monócitos, Células granulocíticas especiais | Monócitos, neutrófilos/ heterófilos, Células granulocíticas especiais | Monócitos, neutrófilos, eosinófilos | Dias et al., (2020); Rauta, Nayak e Das (2012); Tavares-Dias et al. (2008); Tavares-Dias, Sandrim e Campos-Filho (1999). |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Células da imunidade adaptativa | Linfócitos B e linfócitos Th1 e Th2 | Linfócitos (sem diferenciação de populações) | Linfócitos (sem diferenciação de populações) | Linfócitos (sem diferenciação de populações) | Bruce e Brown (2017); Tavares-Dias et al. (2007); Tavares-Dias et al. (2008); Tavares-Dias, Sandrim e Campos-Filho (1999) |
| Citocinas | IFN-gama, IL-2, TNF-alfa, IL-1 beta, IL-6, IL-18, IL-4, TGF-beta, IL-22, IL-17 A/F, IL 21 | - | IL-1, IL-6 | - | Bruce e Brown (2017); Freitas-Souza et al. (2020); |
| Quimioatraentes | C3a, C5a | - | - | - | Bruce e Brown (2017) |
| PRR | TLR1, TLR2, TLR3, TLR4, TLR5M, TLR5S, TLR7, TLR8, TLR9, TL13, TLR14, TLR18, TLR19, TLR20, TL21, TLR22, TLR23, TLR24, TLR25, TLR26, NOD1, NOD2. | - | - | - | Zhang et al. (2014); Sahoo (2020) |
| Cluster de diferenciação | CD3, CD8, CD4 | - | - | - | Bruce e Brown (2017) |
| Sistema Complemento | Via Clássica, Via Alternativa e Via das Lectinas, Pentraxina (proteína C reativa, proteína amilóide sérica) | Via alternativa | Via alternativa | - | Bruce e Brown (2017); Lochmann et al. (2009); Montoya et al. (2017) |
| Classes de Imunoglobulina | IgM, IgD e IgZ/IgT | Imunoglobulinas no muco e plasma (sem diferenciação de classes) | - | - | Bruce e Brown (2017); Vasconcelos-Dias et al., (2015); Souza (2019); Sousa et al. (2019) |
| MHC | MHC tipo I e MHC tipo II | - | - | - | Bruce e Brown (2017) |
| Proteínas de fase aguda | Lisozima, ceruloplasmina, complemento C3, macroglobulinas, transferrina, apolipoproteína A1 | Lisozima, albumina | Lisozima, albumina | Albumina | Bruce e Brown (2017); Charlie-Silva et al. (2019); Chagas et al. (2013); Dias et al., (2020); Montoya et al. (2017) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Enzimas antimicrobianas | Cathelicidina 1 e 2, hepcidina LEAP-2, Oncorhycin III, Lisozima | Lectina “Comasel”, Lisozima | Lisozima | - | Bruce e Brown (2017); Carvalho et al. (2012); Chagas et al. (2013) |
| Genes relacionados à imunidade | RAG1, RAG2, SOCS, COX, genes codificadores de PRRs, peptídeos antimicrobianos, citocinas, proteínas do Sistema Complemento, lectinas e MHC (exemplos) | RAG2, MALT1 | - | - | Zhu et al., (2013); Cunha et al. (2020) |

Tabela 2. Elementos do sistema imune descritos para diferentes espécies de peixes teleósteos cultivados e nas espécies nativas de maior relevância para piscicultura na Amazônia brasileira.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, realizou-se a abordagem geral da Imunologia em mamíferos e em peixes, a fim de mostrar o quanto ainda é necessário conhecer os mecanismos imunológicos das espécies de peixes nativas amazônicas. Como foi descrito, o sistema imune é composto por órgãos, tecidos, inúmeras células e moléculas que interagem entre si, proporcionando um controle da resposta direcionada aos diferentes tipos de patógenos que podem causar infecções.  Para os peixes nativos amazônicos, considera-se que há um ponto de partida para o aprofundamento desse conhecimento. Ontogenia e funcionamento fisiológico dos órgãos imunes primários e secundários, caracterização e diferenciação de células imunes, componentes do Sistema Complemento e proteínas da fase aguda de inflamação, mediadores químicos inflamatórios, citocinas produzidas mediante diferentes agentes patogênicos, células apresentadoras de antígenos e desenvolvimento de memória imunológica, são apenas algumas das diversas linhas de pesquisa que podem ser desenvolvidas.

Considera-se, portanto, que os estudos sobre a Imunologia de peixes nativos irão colaborar para o entendimento dos mecanismos de defesa dos peixes amazônicos contra vários organismos patogênicos, contribuindo assim para o avanço do conhecimento científico e tecnológico. Destaca-se ainda o fato de que as informações produzidas sobre a imunidade dos peixes amazônicos possam auxiliar de forma complementar tanto no diagnóstico como no tratamento dessas doenças, e até mesmo contribuir para futuras pesquisas que enfoquem o desenvolvimento de vacinas, o que representa um processo inovador para a resolução dos entraves relacionados às doenças que temos hoje na criação de espécies nativas.

## REFERÊNCIAS

ACTON, R. T. et al. **Isolation and characterization of the immune macroglobulin from the paddlefish, *Polyodon spathula*.** Journal of Biological Chemistry, v. 246, n. 22, p. 6760–6769, 1971.

AGUIAR, L. S. et al. **Distribution of the acanthocephalan *Neoechinorhynchus buttnerae* and semiquantitative analysis of histopathological damage in the intestine of tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. Parasitology Research, v. 117, n. 6, p. 1689–1698, 2018.

BENACON, M. S. et al. Índices de condición corporal de Matrinxã Brycon Amazonicus del Río Juruá, Amazonas. Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA, p. 44-49, 2015.

BENGTÉN, E.; WILSON, M. Antibody repertoires in fish. In: **Pathogen-Host Interactions: Antigenic Variation v. Somatic Adaptations**. Springer, 2015. p. 193–234.

BILAL, S. et al. **Analysis of immunoglobulin and T cell receptor gene expression in ballan wrasse *(Labrus bergylta)* revealed an extraordinarily high IgM expression in the gut.** Fish & shellfish immunology, v. 87, p. 650-658, 2019.

BILLER-TAKAHASHI, J. D.; URBINATI, E. C. Fish Immunology. **The modification and manipulation of the innate immune system: Brazilian studies.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 86, n. 3, p. 1484–1506, set. 2014.

BLUESTONE, J. A.; MACKAY, C. R.; O'SHEA, J. J.; STOCKINGER, B. **The functional plasticity of T cell subsets.** Nature Reviwes Immunology, v.9, n.11, p. 811-6, 2009

BOWDEN, T. J.; COOK, P.; ROMBOUT, J. **Development and function of the thymus in teleosts**. Fish & shellfish immunology, v. 19, n. 5, p. 413–427, 2005.

BROMAGE, E. S. et al. **Plasmablast and plasma cell production and distribution in trout immune tissues**. The Journal of Immunology, v. 173, n. 12, p. 7317–7323, 2004.

BRUCE, T. J.; BROWN, M. L. **A Review of Immune System Components, Cytokines, and Immunostimulants in Cultured Finfish Species**. Open Journal of Animal Sciences, v. 7, p. 267–288, 2017.

CARVALHO, E. V. M. M. et al. **Detection of the first lectin with antimicrobial activity present in serum of the Amazonian fish tambaqui *Colossoma macropomum***. Fisheries Science, v. 78, n. 4, p. 879-887, 2012.

CHAGAS, E. C.; PILARSKI, F.; SAKABE, R.; MORAES, F.R. **Desempenho produtivo e respostas fisiopatológicas de tambaquis alimentados com ração suplementada com β-glucano.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 48, p. 899-905, 2013.

CHARLIE-SILVA, I. et al. **Acute-phase proteins during inflammatory reaction by bacterial infection: fish-model**. Scientific reports, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2019.

CUNHA, F. P. et al. **Non-lethal molecular diagnostic for acanthocephalosis in Colossoma macropomum**. Aquaculture, v. 519, p. 734860, 2020.

DESCOTES, J. **Immune System**. Encyclopedia of Toxicology: Third Edition, 2014. p. 1004-1023.

DIAS, D.C. et al. **Tempo de migração dos macrófagos em matrinxã, *Brycon amazonicus*, por meio da técnica de inoculação de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*.** Acta Amazonica, v. 41, n. 3, p. 421-424, 2011.

DIAS, M. K. R. et al. **Growth and hematological and immunological responses of *Arapaima gigas* fed diets supplemented with immunostimulant based on *Saccharomyces cerevisiae* and subjected to handling stress**. Aquaculture Reports, v. 17, p. 100335, 2020.

EDHOLM, E. S. et al. **Identification of two IgD+ B cell populations in channel catfish, Ictalurus punctatus.** The Journal of Immunology, p. 1000631, 2010.

FREITAS SOUZA, C. et al. **Purine levels and purinergic signaling in plasma and spleen of *Brycon amazonicus* exposed to acute heat thermal stress: An attempt to regulate the immune response**. Journal of Thermal Biology, p. 102569, 2020.

GEISSMANN, F.; MANZ, M.G.; JUNG, S.; SIEWEKE, M.H.; MERAD, M.; LEY, K. **Development of monocytes, macrophages, and dendritic cells.** Science, v. 327, n. 5966, p. 656–661, 2010.

GOMEZ, D.; SUNYER, J. O.; SALINAS, I. **The mucosal immune system of fish: the evolution of tolerating commensals while fighting pathogens.** Fish & shellfish immunology, v. 35, n. 6, p. 1729-1739, 2013.

GRINDE, B.; LIE, O.; POPPE, T.; SALTE, R. **Species and individual variation in lysozyme activity in fish of interest in aquaculture**. Aquaculture, v. 68, p. 299–304, 1988.

HOLLAND, M. C.; LAMBRIS, J. D. **The complement system of teleosts**. Fish and Shellfish Immunology, v. 12, p. 399–420, 2002.

HORDVIK, I. et al. **Molecular cloning and phylogenetic analysis of the Atlantic salmon immunoglobulin D gene.** Scandinavian journal of immunology, v. 50, n. 2, p. 202-210, 1999.

JAIN, A.; PASARE, C. **Innate Control of Adaptive Immunity: Beyond the Three-Signal Paradigm.** The Journal of Immunology, v. 198, n. 10, p. 3791–3800, 2017.

JENKINS, J., A.; OURTH, D. **Opsonic effect of the alternative complement pathway on channel catfish peripheral blood phagocytes**. Veterinary Immunology Immunopathology, v. 39, p. 447–459, 1993.

KAUR, B.P.; SECORD, E. **Innate Immunity**. Pediatric Clinics of North America, v. 66, n. 5, p. 905–911, 2019.

KONG, X. et al. **Comparison of polymeric immunoglobulin receptor between fish and mammals.** Veterinary immunology and Immunopathology, v. 202, p. 63-69, 2018.

KUM, C.; SEKKIN, S. **The immune system drugs in fish: immune function, immunoassay, drugs**. Recent Advances in Fish Farms, p. 169-210, 2011.

LIE, O; EVENSEN, O; SORENSEN, A; FROYSADAL, E. **Study on lysozyme activity in some fish species.** Disease of Aquatic Organism, v. 6, p. 1–5, 1989.

LOCHMANN, R. et al. **Effects of Carbohydrate-Rich Alternative Feedstuffs on Growth, Survival, Body Composition, Hematology, and Nonspecific Immune Response of Black Pacu, *Colossoma macropomum*, and Red Pacu, *Piaractus brachypomus***. Journal of the World Aquaculture Society, v. 40, n. 1, p. 33-44, 2009.

MACIEL, P. O. et al. **Anatomia e histologia funcional do rim e baço de alevinos de pirarucu (*Arapaima gigas*).** In: Embrapa Pesca e Aquicultura-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Da Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2012, Palmas.

MAGNADÓTTIR, B. **Comparison of immunoglobulin (IgM) from four fish species.** Icelandic Agricultural Sciences, v. 12, p. 47–59, 1998.

MAGNADÓTTIR, B. **Immunological control of fish diseases**. Marine biotechnology, v. 12, n. 4, p. 361–379, 2010.

MAGNADÓTTIR, B. **Innate immunity of fish (overview)**. Fish & Shellfish Immunology, v. 20, n. 2, p. 137–151, 2006.

MANNING, M. J.; NAKANISHI, T. The specific immune system: cellular defenses. In: IWAMA, G.; NAKANISHI, T. (Eds.). **The Fish Immune System: Organism, Pathogen, and Environment**. [s.l.] Academic Press, 1997. v. 15, p. 159.

MARTINS, M. L. et al. **Characterization of the acute inflammatory response in the hybrid tambacu (*Piaractus mesopotamicus* male× *Colossoma macropomum* female)(Osteichthyes).** Brazilian Journal of Biology, v. 69, n. 3, p. 957-962, 2009.

MENDONÇA, I. et al. **Rodlet cells from the gills and kidneys of two brazilian freshwater fishes: an ultrastructural study**. Journal of Morphological Sciences, v. 22, n. 4, 2017.

MONTOYA, L. N. F. et al**. β-Glucan-induced cortisol levels improve the early immune response in matrinxã (Brycon amazonicus).** Fish & shellfish immunology, v. 60, p. 197-204, 2017.

MURPHY, K. M.; REINER, S. L. **The lineage decisions of helper T cells.** Nature Reviews Immunology, v. 2, n. 12, p. 933-944, 2002.

NICHOLSON, L.B. **The immune system**. Essays in Biochemistry, v. 60, n. 3, p. 275–301, 2016.

NUTT, S.L.; HODGKIN, P. D.; TARLINTON, D.M.; CORCORAN, L.M.; **The generation of antibody-secreting plasma cells**. Nature Reviews Immunology, v. 15, n. 3, p; 160-171, 2015.

ØVERLAND, H. S. et al. **Phagocytosis by B-cells and neutrophils in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic cod (*Gadus morhua* L.).** Fish & Shellfish Immunology, v. 28, n. 1, p. 193–204, jan. 2010.

RAPHAEL, I.; NALAWADE, S.; EAGAR, T.N.; FORSTHUBER, T.G. **T cell subsets and their signature cytokines in autoimmune and inflammatory diseases**. Cytokine, v. 74, n. 1, p. 5–17, 2015.

RAUTA, P. R.; NAYAK, B.; DAS, S. **Immune system and immune responses in fish and their role in comparative immunity study: a model for higher organisms.** Immunology letters, v. 148, n. 1, p. 23-33, 2012.

REITE, O. B.; EVENSEN, Ø. **Inflammatory cells of teleostean fish: a review focusing on mast cells/eosinophilic granule cells and rodlet cells**. Fish & shellfish immunology, v. 20, n. 2, p. 192-208, 2006.

ROCHA, M. J. S. et al. **Changes in hematological and biochemical parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) parasitized by metazoan species**. Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária, v. 27, n. 4, p. 488–494, 8 nov. 2018.

ROCHA, R. M.; FLORES, C. Q. **The ultrastructure of the hematopoietic tissue in the head kidney of matrinxã, *Brycon cephalus* Gunther, 1896 (Teleostei–Characidae)**. Acta Microscopica, Caracas, v. 2, n. supl B, p. 207-208, 2001.

ROMBOUT, J. H. W. M. et al. **Teleost intestinal immunology.** Fish & shellfish immunology, v. 31, n. 5, p. 616-626, 2011.

SAHOO, B. R. **Structure of fish Toll-like receptors (TLR) and NOD-like receptors (NLR)**. International Journal of Biological Macromolecules, v.161, p. 1602-1617, 2020.

SALINAS, I. **The Mucosal Immune System of Teleost Fish.** Biology, v. 4, n. 3, p. 525–539, 12 ago. 2015.

SAURABH, S.; SAHOO, P. K. **Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system.** Aquaculture research, v. 39, n. 3, p. 223-239, 2008.

SCHMITT, N. UENO, H. **Regulation of human helper T cell subset differentiation by cytokines.** Current Opinion Immunology, v. 34, p. 130-136, 2015.

SECOMBES, C. J.; WANG, T. The innate and adaptive immune system of fish. In: AUSTIN, B. (Ed.). **Infectious Disease in Aquaculture: Prevention and Control.** 1. ed. UK: Woodhead Publishing Limited, p. 3-68, 2012.

SECOMBES, C. J., ZOU, J.; BIRD, S. Fish Cytokines: Discovery, Activities and Potential Applications. In: Zaccone, G., Meseguer, J., Garcia-Ayala, A. and Kapoor, B.G., Eds., **Fish Defenses: Immunology**, Science Publishers, New Hampshire, USA, 1-36, 2009.

SHINN, A. J. et al. **Economic impacts of aquatic parasites on global finfish production.** Global Aquaculture Advocate, v. 2015, p. 58-61, 2015.

SMITH, N. C.; RISE, M. L.; CHRISTIAN, S. L. **A comparison of the innate and adaptive immune systems in cartilaginous fish, ray-finned fish and lobe-finned fish.** Frontiers in immunology, v. 10, p. 2292, 2019.

SOUSA, L., R.; SANTOS, C., I.; SILVA, R., E., K.; BARCELLOS, M., F., J.; COSTA, F., T., O.; SANTOS, C., M. **Infectious agents and parasites that affect tambaqui (*Colossoma macropomum*) and treatments used to control these pathogens: a systematic review.** Scientia Amazonia, v. 9, n. 3, p. 1–25, 2020.

SOUZA, D. C. M. et al. **Avaliação da resposta humoral de Tambaqui, *Colossoma macropomum* infectado pelo acantocéfalo *Neoechinorhynchus buttnerae***. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, 2019.

SOUSA, R. L. et al. **Desenvolvimento de uma startup e de ferramentas para diagnósticos de doenças endêmicas de tambaqui (*Colossoma macropomum*).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, 2019.

STENVIK, J.; JØRGENSEN, T. Ø. **Immunoglobulin D (IgD) of Atlantic cod has a unique structure**. Immunogenetics, v. 51, n. 6, p. 452-461, 2000.

TAVARES-DIAS, M. et al. **Hematological and biochemical parameters for the pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Osteoglossiformes, Arapaimatidae) in net cage culture**. Electronic Journal of Ichthyology, v. 2, p. 61-68, 2007.

TAVARES-DIAS, M et al. **Comparative study on hematological parameters of farmed matrinxã, *Brycon amazonicus* Spix and Agassiz, 1829 (Characidae: Bryconinae) with others Bryconinae species.** Acta Amazonica, v. 38, n. 4, p. 799-805, 2008.

TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M. L. **An overall estimation of losses caused by diseases in the Brazilian fish farms.** Journal of Parasitic Diseases, v. 41, n. 4, p. 913–918, 7 dez. 2017.

TAVARES-DIAS, M; SANDRIM, E. F. S.; CAMPOS-FILHO, E. **Características hematológicas**

**do tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier (Osteichthyes, Characidae) em sistema de monocultivo intensivo: II. Leucócitos.** Revista Brasileira de Zoologia, p. 175-184, 1999.

URIBE, C. et al. **Innate and adaptive immunity in teleost fish: a review.** Veterinarian Medicina, v. 56, n. 10, p. 486–503, 2011.

VALLADÃO, G. M. R.; GALLANI, S. U.; PILARSKI, F. **South American fish for continental aquaculture**. Reviews in Aquaculture, v. 10, n. 2, p. 351–369, 2018.

VAN MUISWINKEL, W. B.; NAKAO, M. **A short history of research on immunity to infectious diseases in fish.** Developmental & Comparative Immunology, v. 43, n. 2, p. 130-150, 2014.

VASCONCELOS-DIAS, C. A. C. et al. **Caracterização parcial das imunoglobulinas de *Plesiotrygon iwamae* (Chondrichtyes-Potamotrygonidae) e de *Colossoma macropomum* (Osteichtyes-Characidae) isoladas com ácido caprílico**. Scientia Amazonia, v. 4, p. 1-9, 2015.

VELÁZQUEZ, J. et al. **Discovery of immunoglobulin T in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): A potential molecular marker to understand mucosal immunity in this species.** Developmental & Comparative Immunology, v. 88, p. 124-136, 2018.

WALSH, K. P.; MILLS, K. H. G. **Dendritic cells and other innate determinants of T helper cell polarisation.** Trends in Immunology, v. 34, n. 11, p. 521–530, 2013.

WHYTE, S. K. **The innate immune response of finfish–a review of current knowledge.** Fish & Shellfish Immunology, v. 23, n. 6, p. 1127–1151, 2007.

WILLETT, C. E. et al. **Expression of Zebrafish rag Genes during early development identifies the thymus**. Developmental biology, v. 182, n. 2, p. 331-341, 1997.

WILSON, M. et al. **A novel chimeric Ig heavy chain from a teleost fish shares similarities to IgD.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 94, n. 9, p. 4593-4597, 1997.

WU, L. et al. **Long-Lived Plasma Cells Secrete High-Affinity Antibodies Responding to a T-Dependent Immunization in a Teleost Fish.** Frontiers in Immunology, v. 10, n. October, p. 1–12, 2019.

YAMAGUCHI, T., KATAKURA, F., SOMEYA, K., DIJKSTRA, J.M., MORITOMO, T.; NAKANISHI, T. **Clonal Growth of Carp (*Cyprinus carpio*) T Cells in Vitro: Long Term Proliferation of Th2-Like Cells**. Fish and Shellfish Immunology, 34, 433-442, 2013.

YAMANE, H.; PAUL, W. E. **Early signaling events that underlie fate decisions of naive CD4+ T cells toward distinct T-helper cell subsets.** Immunological Reviews, v. 252, n. 1, p. 12-23, 2013.

YE, J. et al. **The teleost humoral immune response**. Fish & Shellfish Immunology, v. 35, n. 6, p. 1719–1728, dez. 2013.

ZAPATA, A. et al. **Ontogeny of the immune system of fish**. Fish & shellfish immunology, v. 20, n. 2, p. 126–136, 2006.

ZAPATA, A. G. **Cells and tissues of the immune system of fish.** The Fish Immune System. Organism, Pathogen, and Environment, 1996.

ZHANG Y, GARCIA-IBANEZ L, TOELLNER KM. **Regulation of germinal center B-cell differentiation.** Immunological Reviews, v.1, p. 8-19, 2016.

ZHANG, J. et al. **Toll-like receptor recognition of bacteria in fish: ligand specificity and signal pathways**. Fish & shellfish immunology, v. 41, n. 2, p. 380-388, 2014.

ZHANG, Y.-A. et al**. IgT, a primitive immunoglobulin class specialized in mucosal immunity.** Nature immunology, v. 11, n. 9, p. 827, 2010

ZHU, L. et al. **Advances in research of fish immune-relevant genes: a comparative overview of innate and adaptive immunity in teleosts.** Developmental & Comparative Immunology, v. 39, n. 1-2, p. 39-62, 2013.

ZOU, J.; SECOMBES, C. J. **The function of fish cytokines**. Biology, v. 5, n. 2, p. 23, 2016.

# CAPÍTULO 20

# ANESTESIA E SEDAÇÃO EM PEIXES: AVALIAÇÃO, PRODUTOS UTILIZADOS E IMPLICAÇÕES ÉTICAS

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Luis André Luz Barbas**
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará
Castanhal – Pará
https://orcid.org/0000-0002-2708-8909

**Moisés Hamoy**
Universidade Federal do Pará
Belém – Pará
https://orcid.org/0000-0002-2931-4324

**RESUMO:** O uso de anestésicos na piscicultura vem se tornando mais frequente à medida que a atividade cresce em todo o mundo impulsionada por uma demanda crescente de pescado. A utilização da anestesia em peixes facilita o manejo, frequentemente diminui o estresse fisiológico e tem sido cada vez mais discutida dentro de um contexto de ética e bem-estar de animais aquáticos. Avaliações comportamentais, hematológicas, hidrominerais e metabólicas são realizadas com frequência para a caracterização do quadro anestésico em peixes. De outro lado, a utilização de marcadores eletrofisiológicos tem ganhado espaço, no intuito de se verificar também a anestesia geral sob o ponto de vista neuronal, incluindo a avaliação das atividades muscular e cardiorrespiratória. Diversos anestésicos sintéticos têm sido utilizados em peixes, também havendo uma grande quantidade de produtos naturais, como extrativos de plantas, na forma de óleos essenciais ou compostos isolados sendo prospectados e outros vários já recomendados como produtos alternativos para imobilização e anestesia de peixes. As perspectivas de pesquisa na área de extrativos vegetais e seus efeitos anestésicos para peixes são promissoras no Brasil. Não menos importante, a caracterização da resposta anestésica de peixes submetidos a drogas sintéticas tradicionalmente utilizadas como anestésicos precisa ser feita, para que a eficácia do ponto de vista neurofisiológico seja também atestada. A depressão do sistema nervoso central com perda da sensibilidade, sendo essa uma condição essencial para que a anestesia geral seja assim denominada, aliada a uma resposta cardiorrespiratória segura e compatível com a vida, serão fatores determinantes para a designação de produtos elegíveis para uso como anestésicos em peixes. Desta forma, não incorreremos no risco de submeter peixes a sofrimento, dor e à eutanásia sob condições inadequadas e com implicações éticas importantes.

**PALAVRAS-CHAVE**: Bem-estar animal, eletrocardiograma, eletromiograma, extrativo vegetal, estresse em peixes.

## ANAESTHESIA AND SEDATION IN FISH: EVALUATION, PRODUCTS USED AND ETHICAL IMPLICATIONS

**ABSTRACT:** The use of anaesthetics in fish farming has become more frequent as the activity flourishes worldwide driven by a growing demand for fish. The use of anaesthesia facilitates handling, can reduce the physiological stress, and has been increasingly discussed in a context of ethics and aquatic animal welfare. Behavioural, haematological, hydromineral and metabolic assessments are frequently performed to characterize anaesthesia in fish. Moreover, the use of electrophysiological markers has gained

ground for the verification of general anaesthesia also from a neuronal perspective, including the evaluation of muscle and cardiorespiratory activities. Several synthetic anaesthetics have been used in fish; there are also several natural products, such as plant extracts, in the form of essential oils or isolated compounds being prospected, and several others have already been recommended as alternative products for immobilizing and anesthetizing fish. The prospects for research in the area of plant extracts and their anaesthetic effects on fish are promising in Brazil. Further, the characterization of the anaesthetic response in fish exposed to synthetic traditional drugs used as anaesthetics has to be evaluated, so that their neurophysiological effects can be confirmed or elucidated. Depression of the central nervous system with loss of sensation, which are essential conditions in general anaesthesia, combined with a safe and life-compatible cardiorespiratory response, will be determining factors for the designation of eligible general anaesthetics for fish. In this way, we will secure not taking the risk of subjecting fish to suffering, pain and euthanasia under inadequate conditions and with important ethical implications.
**KEYWORDS:** Animal welfare, electrocardiogram, electromyogram, plant extract, fish stress.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os anestésicos gerais são substâncias que promovem, de forma reversível, depressão do sistema nervoso central resultando em perda da sensibilidade e da resposta aos estímulos ambientais (Summerfelt e Smith 1990). O uso de anestésicos na piscicultura vem se tornando mais frequente na medida em que a atividade cresce em todo o mundo, impulsionada por uma demanda crescente de pescado (FAO, 2020). A utilização da anestesia em peixes facilita o manejo, frequentemente diminui o estresse fisiológico e tem sido cada vez mais discutida dentro de um contexto de ética e bem-estar de animais aquáticos (Ross e Ross, 2008; Readman et al., 2013).

O estresse em peixes é uma condição inerente aos sistemas de produção intensificados e o manejo dos animais em várias situações que requeiram manipulação direta, transporte em sistemas fechados com altas densidades, abate humanizado, além de métodos de contenção de peixes para fins de pesquisa científica e eutanásia humanizada, são algumas das práticas que demandam o uso de anestésicos.

Além da supressão dos sentidos e da dor, que são condições essenciais para a designação de um produto como anestésico geral, vários anestésicos ou produtos alternativos capazes de determinar sinais clínicos semelhantes ao estado de anestesia, têm sido indicados também para uso em peixes por seus potenciais efeitos antiestressantes e antioxidantes.

## 2 | UTILIZAÇÃO DE ANESTÉSICOS NA PISCICULTURA

No intuito de refrear os efeitos deletérios ocasionados pelo estresse de manejo, a utilização de produtos anestésicos vem se intensificando na piscicultura moderna, facilitando o manuseio em diversas situações onde houver necessidade de manipulação dos animais, como ocorre nas amostragens periódicas do plantel, durante a marcação, no

transporte, na reprodução artificial e ainda nos procedimentos cirúrgicos (Coyle et al., 2004; Roubach et al., 2005; Weber et al., 2009).

A anestesia pode ser induzida através de banho, por via oral, ou através de injeção com uma variedade de substâncias. A escolha de um anestésico apropriado depende principalmente da sua eficácia de indução e imobilização com rápida recuperação (Gilderhus e Marking, 1987; Burka et al., 1997; Ross e Ross, 2008). Um anestésico ideal deve possuir vários atributos, tais como: ser atóxico, de baixo custo, de fácil administração e resultar em rápida indução e recuperação calma (Treves-Brown, 2000). A atividade de natação, o equilíbrio, o comportamento, a taxa de ventilação, o movimento dos olhos, as respostas de reflexo e da frequência cardíaca, eletromiograma, dentre outros, são parâmetros monitoráveis em peixes. O grau de atividade desejado será dependente do aprofundamento do nível de anestesia para um procedimento particular (Sneddon, 2012).

## 2.1 Mecanismo de ação

A anestesia deverá proporcionar ação depressora sobre o sistema nervoso central (SNC) e ausência de intercorrências durante a recuperação. A despeito de que o mecanismo preciso de ação dos diferentes anestésicos em invertebrados e peixes ainda precisa ser mais amplamente elucidado, é atualmente aceito que o anestésico atua promovendo uma depressão generalizada do SNC por ação sobre os axônios através da liberação de neurotransmissores ou por modulações na permeabilidade de membrana ou ainda, uma combinação de ambos os eventos (Ross e Ross 2008). Com alguns fármacos, parece haver uma relação inversa entre a concentração necessária para induzir ao estágio de anestesia e a posição filogenética dos animais, o que faz com que um peixe necessite de uma quantidade maior de anestesia do que um mamífero, por exemplo, para produzir o efeito desejado de modo similar. Isso pode ser explicado por fatores relacionados à evolução de mecanismos moleculares, como o aumento de sítios ativos para determinadas moléculas em vertebrados superiores.

## 2.2 A avaliação da anestesia e sedação em peixes

### *2.2.1 Marcadores comportamentais*

A série de fases comportamentais é relativamente fácil de caracterizar desde que a indução à anestesia seja suficientemente lenta para permitir a visualização da transição entre os estágios. Em primeiro lugar, observa-se a sedação, condição também designada no contexto aquícola como “anestesia superficial” e, em seguida, a anestesia profunda ocorre na maioria dos animais, com perda de reflexos a estímulos externos, presumível inconsciência e analgesia.

Os estágios progressivos de sedação e anestesia em peixes foram pela primeira vez adaptados e descritos por McFarland (1959). O seu esquema descritivo está resumido na Tabela 1, onde se verifica que uma substância anestésica pode produzir sedação, anestesia cirúrgica, ou morte, dependendo da combinação entre concentração anestésica e duração da exposição. Muitas vezes pode ocorrer discrepância entre espécies na resposta à anestesia e os estágios de indução poderão não estar em conformidade clara com todos os sinais fisiológicos e comportamentais descritos por McFarland, muito embora exista um consenso de que essa descrição possa servir como base preliminar para a avaliação da

indução de peixes à anestesia.

Para fins práticos, a anestesia se resume a três fases óbvias: indução, manutenção e recuperação. Estas fases principais têm sido citadas ao longo do tempo na literatura, mas, por vezes, sem consistência. Cada uma dessas fases pode variar em duração de acordo com a droga ou método utilizado, espécie e condições do ambiente, ou ainda, a depender da qualidade da água.

| Estágio | Plano | Descrição | Sinais Fisiológicos e Comportamentais |
|---|---|---|---|
| I | 1 | sedação leve | responsivo a estímulos com movimentos reduzidos, ventilação diminuída |
| | 2 | sedação profunda | como descrito no estágio I plano 1, apresentando leve analgesia e responsivo somente a estímulos grosseiros |
| II | 1 | anestesia leve | perda parcial do equilíbrio com boa analgesia |
| | 2 | anestesia profunda | perda total do equilíbrio, tônus muscular, ventilação significativamente reduzida |
| III | | anestesia cirúrgica | como descrito no estágio II plano 2, com total perda de reação mesmo a estímulos grosseiros |
| IV | | colapso medular | ventilação cessa, parada cardíaca, overdose e morte |

Tabela 1. Estágios de anestesia em peixes.

Adaptado de Macfarland (1959)

A avaliação da indução à anestesia, utilizando-se banhos anestésicos, bem como da recuperação pós-anestesia em peixes, pode ser feita em aquários com água adicionada da concentração-teste de anestesia e aquário de recuperação com água livre de anestésico. Os volumes úteis nos aquários deverão ser adequados para permitir a observação das mudanças dos padrões de natação durante os diferentes estágios da indução e recuperação. O fluxograma apresentado na Fig. 1 demonstra de forma simplificada as etapas de anestesia e recuperação em peixes durante e após os banhos anestésicos.

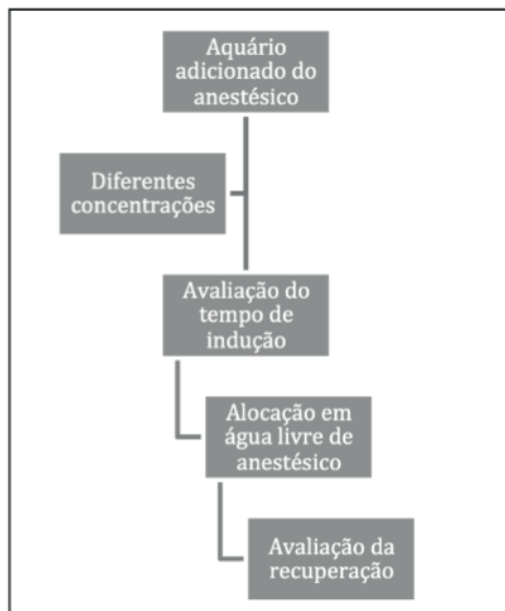



Figura 1. Fluxograma para a avaliação da anestesia durante a indução e recuperação após banhos anestésicos (Adaptado de Ross e Ross 2008).

### *2.2.2 Marcadores eletrofisiológicos*

Uma característica importante de um anestésico está na sua capacidade de eliminar ou aliviar a dor. Uma vez que há evidências que sugerem que peixes são capazes de nocicepção ou percepção da dor (Ashley et al., 2007; Roques et al., 2010), bem-estar e dor são aspectos importantes a serem considerados, muito embora, sejam essas ainda questões pouco discutidas no contexto da produção de peixes de corte ou com finalidade ornamental.

O nível de depressão neuronal, as extensões das alterações cardíacas ou do relaxamento muscular que um dado anestésico pode determinar, são parâmetros difíceis de serem avaliados em peixes e, por isso, raramente investigados. Muitos dos anestésicos atuais já testados e também novos produtos apresentados como alternativos para uso em peixes são considerados anestésicos gerais baseando-se na equivocada premissa de que se ocorrer a perda de reação a estímulos externos, visuais ou mecânicos, isso será acompanhado por analgesia (Ross e Ross, 2008). Ainda, o uso de marcadores comportamentais unicamente, como a observação de latência para o estágio de imobilização completa, não comprova anestesia geral com perda de sensibilidade, analgesia ou mesmo perda de tônus muscular. Peixes podem atingir um estágio de sedação, estarem completamente imobilizados, mas ainda sensíveis à dor.

Estudos de monitoramento eletroencefalográfico (EEG) em peixes são escassos. Um estudo caracterizou os padrões normais no traçado de EEG em *zebrafish* (*Danio rerio*) e também de espécimes induzidos à convulsão com pentilenotetrazol (Pineda et al., 2011). Também há relatos mais recentes de registro de padrões eletroencefalográficos em

espécies de linguado (*Scophthalmus maximus* e *Solea solea*) submetidas à técnicas de pré-abate com imersão em gelo ou após choque elétrico (Lambooij et al., 2015; Daskalova et al., 2016).

O monitoramento de EEG em peixes submetidos à anestesia é raro, tendo sido realizado em carpa (*Cyprinus carpio*) submetida à concentrações anestésicas de $CO_2$ (Yoshikawa et al., 1991; 1994). Apesar dos relatos supracitados, muito pouco se conhece ainda quanto aos padrões de traçados eletrofisiológicos de peixes submetidos aos diferentes anestésicos. No Brasil, há poucos relatos da utilização de marcadores eletrofisiológicos em estudos que avaliam a anestesia geral em peixes (Barbas et al., 2017a; Fujimoto et al., 2017; de Souza et al., 2019; Vilhena et al., 2019).

Os diversos anestésicos apresentados no mercado, recomendados e disponíveis para uso em peixes, precisam ser avaliados quanto a sua capacidade de determinar depressão do sistema nervoso central e impactos sobre o relaxamento muscular e, mais ainda, sobre os riscos que impõem ao funcionamento cardiorrespiratório.

Apesar de amplamente utilizado para a avaliação da atividade cerebral em mamíferos, o monitoramento por EEG é uma metodologia relativamente nova na avaliação da anestesia em peixes. O EEG permitirá a comprovação inequívoca da ação anestésica a partir da diminuição da atividade neuronal de potencial de campo. A avaliação comportamental necessita ser corroborada por metodologias que esclareçam o que ocorre do ponto de vista neurológico com o órgão ou região efetora, neste caso, o sistema nervoso central. Dessa forma, erros de interpretação serão evitados, como a designação de anestésicos gerais para drogas que determinem apenas ação na placa motora (miorrelaxantes de ação periférica), mas sem ação anestésica central.

O propofol é um anestésico derivado do alquil-fenol, muito utilizado na medicina e seu efeito no sistema nervoso central é determinado pela sua interação com o receptor do ácido Gama-amino-butírico (GABA), um neurotransmissor inibitório de mais ampla atividade no sistema nervoso central. Durante o contato com a droga, diluída na concentração de 2 ppm em água de aquário, observa-se mudanças na atividade cerebral do tambaqui, *Colossoma macropomum* com alterações do traçado de EEG (Fig. 2 A, B, D e E), demonstrando redução da intensidade de força, como pode ser visualizado no espectrograma de frequência de animais anestesiados em comparação ao espectrograma de animais em estado basal (Fig. 2 C e F). A coloração vermelha na escala colorimétrica do espectrograma corresponde a maior intensidade de energia, que está distribuída de forma mais evidente em frequências abaixo de 10 Hz no espectrograma de animais não anestesiados (Fig. 2 C). A implantação desta metodologia, em se tratando de anestesia de peixes, gera novas perspectivas para a avaliação da anestesia geral em termos de comprovação de eficácia e potência, permitindo a proposição de concentrações anestésicas efetivas de forma mais inequívoca.

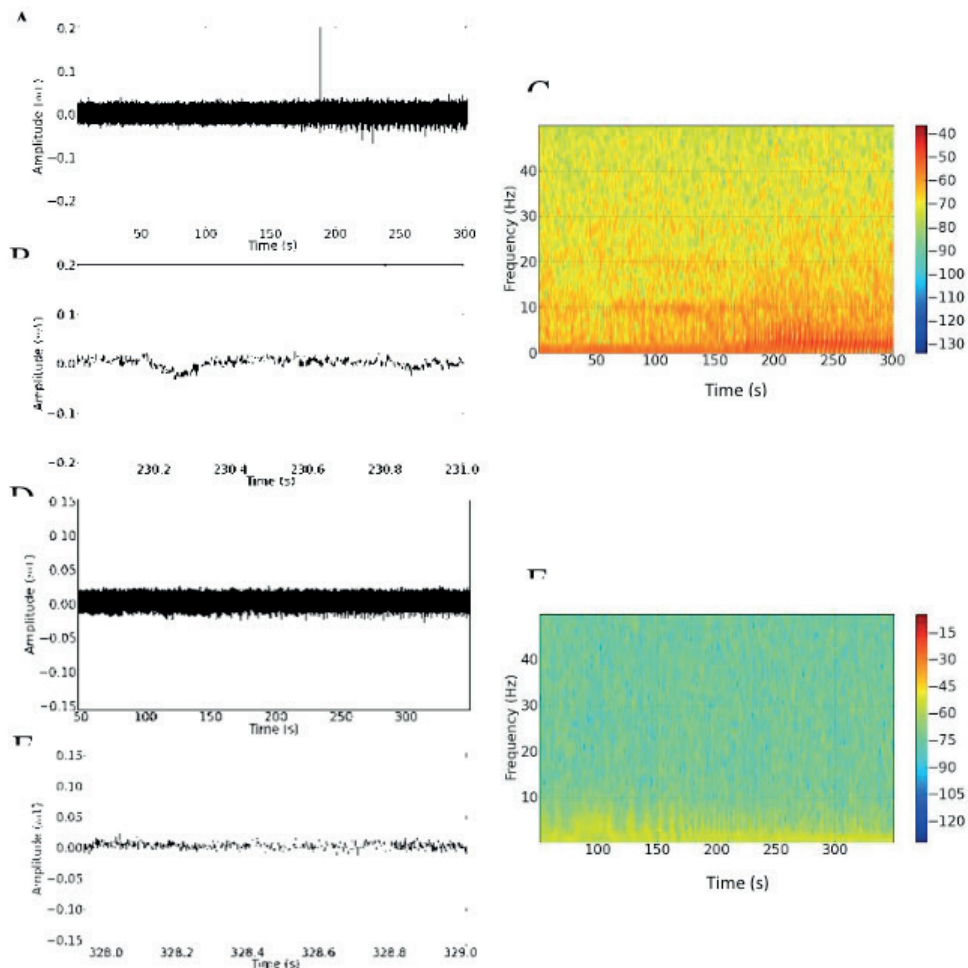



Figura 2. Demonstrativo do eletroencefalograma (EEG) na região mesencefálica de tambaqui, *C. macropomum* (~ 5,0g) no estado basal (A), registro basal amplificado de 1 s (B) e perfil do espectrograma do EEG no estado basal (C). Traçado de EEG da região mesencefálica do tambaqui anestesiado com propofol na concentração de 2 ppm (D), registro amplificado de 1 s demonstrando o efeito do propofol sobre o traçado (E) e espectrograma apresentando a mudança na distribuição de energia no registro de potencial de campo no mesencéfalo sob efeito do propofol (F). (Arquivo pessoal Professores Luis Barbas e Moisés Hamoy).

O registro eletromiográfico (EMG) também é uma ferramenta para medida da intensidade do miorrelaxamento provocado pelas substâncias anestésicas ou sedativas. Esta característica dos anestésicos é importante, pois facilita intervenções mais invasivas como no caso de cirurgias e também evita gastos exagerados de energia o que levaria o organismo a um quadro de desiquilíbrio da homeostase e desencadeando alterações relacionadas ao estresse. O EMG pode ser utilizado como ferramenta para testar efeitos relacionados à potência miorrelaxante dos anestésicos em peixes.

Tambaquis anestesiados com propofol demonstraram traçados de EMG característicos de miorrelaxamento (Fig. 3). Durante momentos iniciais da indução, a droga

reduz o tônus muscular e, apesar de haver ainda contração da musculatura, esta ocorre em intensidade menor do que o normal, o que é visualizável através da amplitude dos traçados (Fig. 3 D e E). Posteriormente, é demonstrada uma fase de miorrelaxamento completo sem captação de atividade muscular no musculo dorsal (Fig 3 F). Essa característica do propofol evidencia o seu poder miorrelaxante. O EMG é complementar ao registro eletroencefalográfico, pelo qual se dá a comprovação da atividade anestésica propriamente dita.

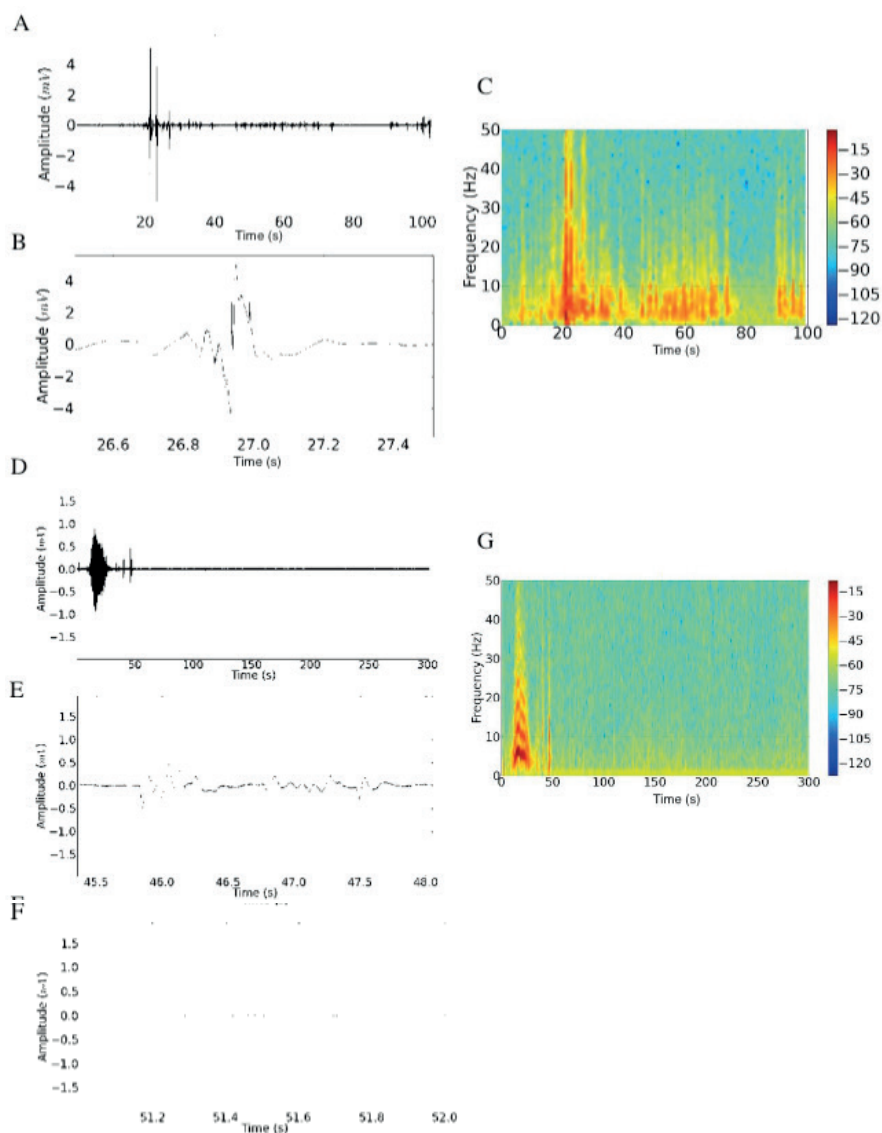



Figura 3. Demonstrativo do eletromiograma (EMG) no músculo dorsal de tambaqui, *C. macropomum* (5g) (A), amplificação do registro de contração muscular (1 s) (B), espectrograma de distribuição de energia durante a contração muscular normal do tambaqui (C). EMG do músculo dorsal do tambaqui juvenil (~ 5,0g) em contato com o propofol na concentração de 2 ppm (D); amplificação (aprox. 2,5 s) do registro na última contração muscular antes

do miorrelaxamento (E), EMG durante a anestesia com propofol (miorrelaxamento) (F) e espectrograma de distribuição de energia durante a contração muscular do tambaqui (G). Observar no espectrograma a fase de atividade muscular (cor vermelha) e miorrelaxamento (Arquivo pessoal professor Luis Barbas e Moisés Hamoy).

Ao avaliarem juvenis de tambaqui submetidos a banho anestésico com óleo essencial de citronela (*Cymbopogon nardus*), Barbas et al. (2017a) procederam para além da descrição do padrão comportamental, o monitoramento da contração muscular com o EMG. Além de determinar imobilização corporal completa em todas as concentrações testadas, ficou demonstrado que o óleo essencial da citronela a 600 $\mu L\ L^{-1}$ atuou como um agente miorrelaxante eficaz como demonstrado pelas amplitudes dos traçados registrados no músculo dorsal (Fig. 4). Outros produtos naturais como os óleos essenciais de *Nepeta cataria* e *Piper divaricatum* também promoveram diminuição significativa da atividade muscular do tambaqui, conforme demonstrados nos traçados de EMG do músculo dorsal (de Souza et al., 2019; Vilhena et al., 2019).

Em outro estudo também ficou demonstrada, através da avaliação do EMG, depressão significativa do poder de contração muscular em três espécies de peixes ornamentais amazônicos submetidos a banho anestésico com óleo essencial de cravo (Fujimoto et al., 2017). Essa técnica permite, portanto, mensurar a intensidade da contração muscular durante a ação de drogas, detectando contrações mínimas, que em avaliações visuais podem passar despercebidas.

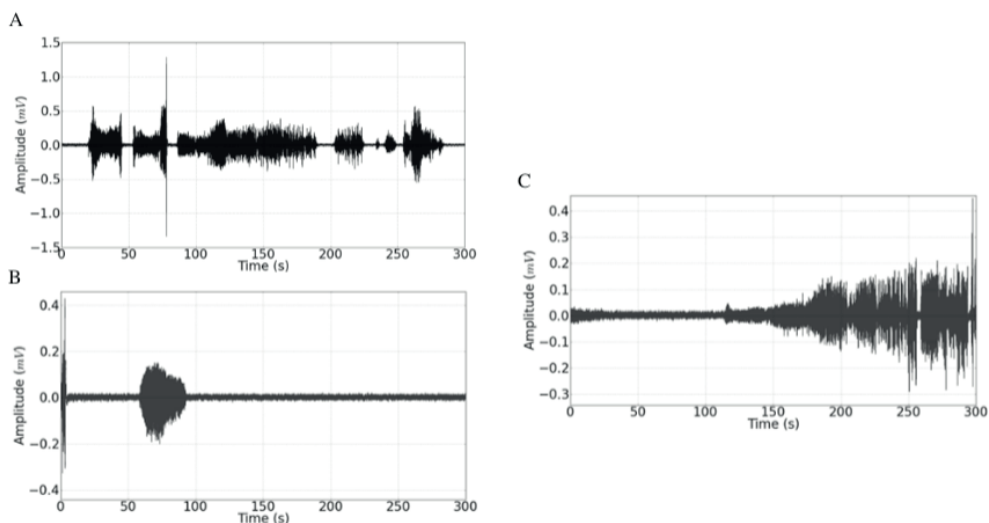



Figura 4. Traçado de eletromiograma (EMG) normal (A) em juvenis de tambaqui, *Colossoma macropomum* (~ 2,0g), durante a indução anestésica com óleo essencial de citronela (*Cymbopogon nardus*) a 600 $\mu L\ L^{-1}$ (B) e durante a recuperação em água livre de anestésico (C). Barbas et al. (2017a)

Outros efeitos das drogas anestésicas estão ligados às alterações hemodinâmicas. Isso ocorre pela ação direta nos vasos ou no coração, seja por modulação da neurotransmissão ou diretamente no tecido. O eletrocardiograma (ECG) permite avaliar a ação das drogas

anestésicas sobre a atividade elétrica cardíaca, possibilitando o acompanhamento das alterações funcionais durante a indução, manutenção e o retorno anestésico. Um exemplo de monitoramento cardíaco em peixe é apresentado na Fig. 5.

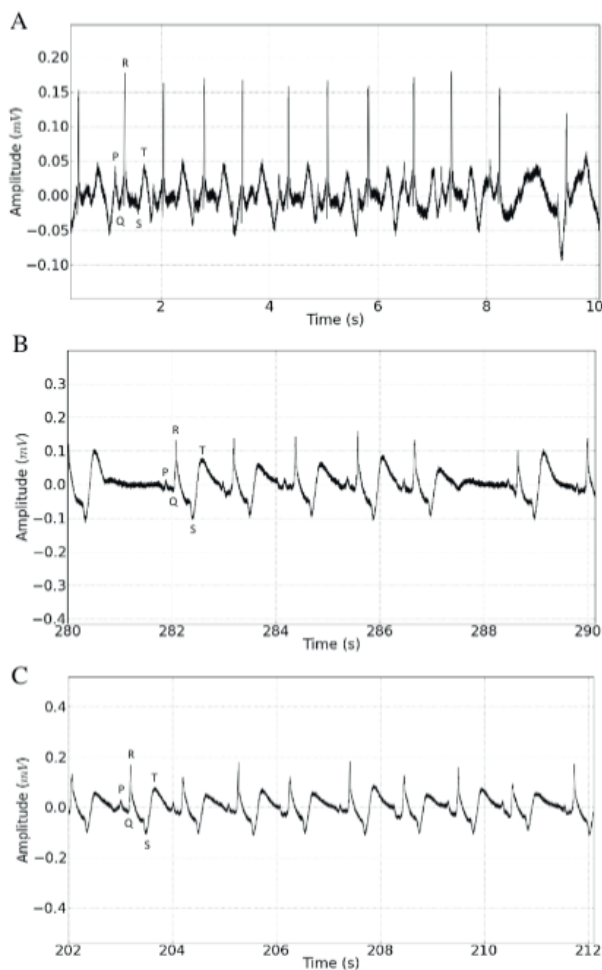



Fig. 5. Registro eletrocardiográfico (ECG) demonstrando a frequência cardíaca de tambaqui, *Colossoma macropomum* (~ 2,0g) no estado normal (A), durante a indução anestésica com óleo essencial de citronela (*Cymbopogon nardus*) a 600 $\mu$L $L^{-1}$ (B) e durante a recuperação em água livre de anestésico (C). A identificação das ondas P, complexo QRS e onda T está demonstrada nos traçados. Barbas et al. (2017a).

O óleo essencial de citronela determina diminuição da pressão arterial e da frequência cardíaca durante o processo de indução anestésica, com pouca variação da atividade cardíaca. Durante a manutenção da anestesia profunda os animais podem desenvolver bradicardia com leve arritmia, porém o coração se mantem com atividade regular e compatível com um procedimento anestésico seguro (Fig. 5).

Esta metodologia também é complementar ao EEG, sendo que o efeito da atividade anestésica na função cardíaca deve ser sempre levado em consideração, pois quanto maiores

as alterações cardiovasculares observadas nos animais sob anestesia, mais imprópria se torna a droga para uso.

#### *2.2.3 Fatores que podem influenciar na eficácia anestésica*

A eficácia anestésica pode ser condicionada pelo ambiente (temperatura, pH e salinidade) e fatores biológicos (tamanho, peso, teor de lípidos e espécies de peixes) (Burka et al., 1997; Ross e Ross, 2008). É bastante aconselhável identificar as mais baixas concentrações eficazes em proporcionar o plano anestésico almejado, sendo que as respostas a um mesmo anestésico podem variar consideravelmente entre as diferentes espécies (King et al., 2005).

### 2.3 Anestésicos Sintéticos

A tricaina metanossulfonato, $C_9H_{11}O_2N + CH_3SO_3H$, também conhecida por MS-222 é atualmente o anestésico mais utilizado no mundo. É um isômero da benzocaína com um radical sulfonato adicional, que a torna mais solúvel em água, entretanto, mais acídica quando em solução (Congleton, 2006), desta forma, requerendo o uso em associação com um produto tamponante para a obtenção de um pH compatível com a espécie a ser submetida à anestesia, evitando-se assim acidemia metabólica (Sneddon, 2012). A tricaína é a única droga anestésica aprovada pelo Departamento Americano de Controle de Drogas e Alimentos (US Food and Drug Administration) para uso em peixes destinados ao consumo humano. Também é registrada para uso veterinário no Reino Unido, Canadá, Itália, Espanha e Noruega (Sneddon, 2012; Popovic et al., 2012), sendo rotineiramente utilizada para procedimentos não invasivos e cirúrgicos em peixes, além de recomendada como o primeiro passo para realização de eutanásia para a maioria dos peixes de laboratório (Readman et al., 2013).

Outros anestésicos frequentemente utilizados na aquicultura são: 2 - fenoxietanol (PE), etanol, éter dietílico, benzodiazepinas, halotano, lidocaína, cetamina, medetomidina, propofol, dióxido de carbono (Svoboda e Kolarova, 1999; Neiffer e Stamper, 2009; Weber III, 2011), além da benzocaína (etil aminobenzoato), que também tem sido utilizada com frequência em diferentes espécies de teleósteos (Heo e Shin, 2010; Pramod et al., 2010).

### 2.4 Extrativos vegetais como anestésicos e/ou sedativos para peixes

Anestésicos provenientes de fontes naturais como extrativos vegetais podem ser uma importante área de pesquisa em razão da grande diversidade de compostos presentes nesses produtos (Keene et al., 1998; Gonçalves et al., 2008; Cunha et al., 2010; 2011), além de que o uso de produtos naturais é potencialmente menos oneroso e menos problemático quanto a questão residual que comprometa a qualidade da água ou da carne.

Diversos produtos naturais apresentam potencial para utilização como anestésicos na aquicultura. O óleo de cravo, que tem por principal componente ativo (70% a 90%) o eugenol [2-metoxi-4-(2-propenil) fenol] tem sido investigado em diversos estudos e indicado como um produto natural eficiente para indução anestésica a um bom custo-benefício (Walsh e Pease, 2002; Iversen et al., 2003; King et al., 2005; Mylonas et al., 2005; Roubach et al., 2005; Cunha e Rosa, 2006; Hajek et al., 2006; Barbosa et al., 2007).

Gonçalves et al. (2008) avaliaram o mentol para anestesiar juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus* que se mostrou eficiente para promover a indução anestésica nessa espécie. Extrativos como óleos essencias das plantas erva cidreira, *Lippia alba* e a alfavaca ou manjericão, *Ocimum gratissimum* também foram testados em jundiá, *Rhamdia quelen,* mostrando-se efetivos e seguros para essa espécie. O óleo essencial de *L. alba* amenizou inclusive o estresse oxidativo em experimentos de transporte simulado (Cunha et al., 2010; Azambuja et al., 2011; Silva et al., 2012).

Além da *L. alba*, outro óleo essencial, o da planta *Aloysia triphylla,* foi testado no crustáceo *Litopenaeus vannamei,* sendo que ambos foram eficazes na indução anestésica em plano mais profundo e em concentrações mais baixas para obtenção de planos mais superficiais de anestesia nos experimentos de transporte simulado (Parodi et al., 2012).

O jambu, *Spilanthes acmella* var *oleracea L*. também conhecido como agrião-do-Pará, cresson do Pará, dentre outros nomes populares, é uma hortaliça de clima tropical, nativa do Brasil, cultivada ao longo do ano como planta ornamental ou medicinal (Prachayasittikul et al., 2013). Estudos demonstraram que o extrato etanólico das folhas de *S. acmella* apresentaram atividade anti-inflamatória significativa em processos inflamatórios agudos, subagudos e crônicos, bem como atividade analgésica central e periférica em modelos experimentais animais (Barman et al., 2009). Efeitos antinociceptivos prevalentes e sem efeitos adversos também foram reportados para o extrato etanólico de *S. acmella*. A presença de N-alquilamidas, incluindo o espilantol, sugere que o efeito terapêutico está relacionado com a sua maior atividade anestésica (Nomura et al., 2013). Mais recentemente, ficou demonstrada a eficácia anestésica de *S. acmella* para juvenis de tambaqui, *Colossoma macropomum* quando expostos a banho anestésico com extrato ceroso das flores (extração por fluido supercrítico com uso de $CO_2$) a 20 mg $L^{-1}$ (Barbas et al., 2016).

A sedação (anestesia superficial) pode ser suficiente para diminuir o estresse no transporte de peixes. O transporte de juvenis de peixes é algo rotineiro dentro da cadeia produtiva e considerado como procedimento não invasivo (Sneddon, 2012). Com a utilização de anestésicos em concentrações sedativas, ocorre perda parcial de equilíbrio e supressão da reação a estímulos externos. É considerada uma condição ideal para o transporte de peixes que apresentam, nessas condições, atividade reduzida, mas são capazes de manter o equilíbrio parcial, a capacidade de nadar e evitar danos físicos resultantes da colisão entre indivíduos durante o transporte (Cooke et al., 2004). Nos estudos de Inoue et al. (2005), matrinxãs *Brycon cephalus* foram expostas ao eugenol na concentração de 5 mg $L^{-1}$ em sacos de polietileno em experimento de transporte e, como resultado, houve sedação branda e mitigação dos efeitos do estresse fisiológico.

A forma mais usual de transporte de alevinos no Brasil se dá por sistemas fechados em sacos de polietileno, que são inflados com oxigênio puro, havendo por consequência bruscos aumentos nos níveis de oxigênio dissolvido (Gomes et al., 1999; Golombieski et al., 2003). Sendo o transporte um ponto crítico da cadeia produtiva da piscicultura e também um agente estressor, a exposição de peixes inicialmente à hiperóxia e posteriormente à hipóxia/anóxia no decorrer do transporte, pode resultar em alterações oxidativas, pois o consumo de oxigênio determina os níveis de Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) gerados e também o *status* antioxidante. Alguns indicativos podem ser dados pelo aumento das atividades de enzimas antioxidantes que sofrem um incremento de atividade com a elevação nos níveis

intracelulares de ERO (Lushchak et al., 2001).

Peixes que são submetidos ao transporte e que sejam mais adaptados às variações nos níveis de oxigênio dissolvido à hipóxia ou anóxia, sobrevivem com mais frequência às condições de baixo oxigênio dissolvido, entretanto, sofrem um novo perigo após a retomada do oxigênio. A cadeia transportadora de elétrons ao ser reduzida sob condições de hipóxia pode produzir níveis elevados de ERO durante a reoxigenação o que pode causar estresse oxidativo. A hiperóxia por si só, normalmente estabelecida no início do transporte de peixes em sistemas fechados pela introdução de oxigênio puro, pode gerar níveis elevados de ERO e esses animais precisam desenvolver sistemas antioxidantes eficazes. Uma forma de aliviar o estresse oxidativo ocasionado durante o transporte de jundiá, *Rhamdia quelen* foi utilizando o óleo essencial de *L. alba* na concentração sedativa de 10 $\mu$L $L^{-1}$, o qual demonstrou além de atividade anestésico-sedativa, propriedade antioxidante (Azambuja et al., 2011).

Tambaquis transportados por 6 horas em embalagens plásticas em água hiperóxica adicionada de extrativos anestésicos nas concentrações de 1 mg $L^{-1}$ e 30 $\mu$L $L^{-1}$ de extrato ceroso de *S. acmella* e óleo essencial de *Nectandra grandiflora*, respectivamente, também apresentaram redução de peroxidação lipídica no músculo, conforme demonstrado pelo menor acúmulo de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) (Barbas et al., 2017b). Portanto, além da atividade sedativa observada nos animais expostos a essas concentrações, houve também um efeito protetor contra dano oxidativo na presença dos produtos diluídos na água de transporte (Fig. 6).

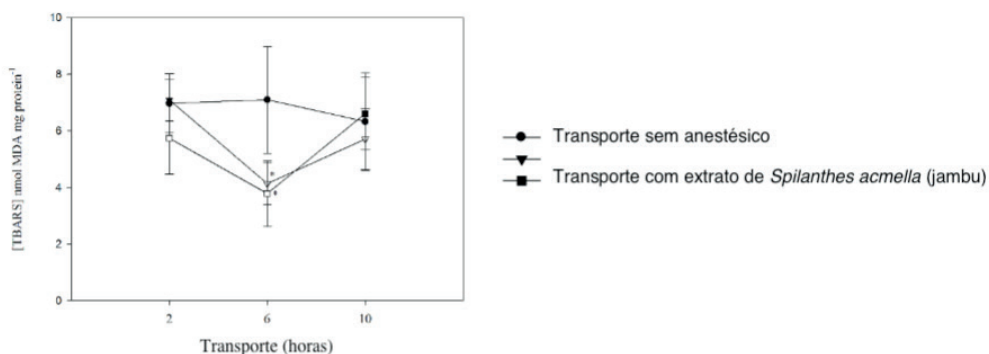



Fig. 6. Concentração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em músculo de juvenis de tambaqui (~ 8,6 g) submetidos a diferentes tempos de transporte (2, 6 e 10 h) com e sem anestésicos (extrato de Spilanthes acmella – 1 mg L–1; óleo essencial de Nectandra grandiflora – 30 $\mu$L L– 1). Valores expressos como Média ± DP. Asteriscos indicam diferenças significativas em relação aos transportados sem anestésico dentro do mesmo tempo (ANOVA, Tukey p < 0,05), n = 30. Barbas et al. (2017b)

A intensificação da piscicultura impulsionou a busca por produtos anestésicos alternativos, de custo-benefício mais atrativo para auxiliar no manejo de peixes. Recentemente, foi realizado um levantamento sobre os diferentes tipos de óleos essenciais e compostos isolados de plantas já testados como anestésicos e seus efeitos em peixes (Aydın and Barbas, 2020). Extrativos vegetais apresentam uma vasta fonte de compostos que podem possuir atividade anestésica e/ou sedativa, além de funcionarem como agentes anti-estressantes e antioxidantes. As perspectivas de pesquisa na área de extrativos

vegetais e seus efeitos anestésicos para peixes são promissoras no Brasil. Não menos importante, a caracterização da resposta anestésica de peixes submetidos a drogas sintéticas tradicionalmente utilizadas como anestésicos precisa ser feita, para que a eficácia do ponto de vista neurofisiológico seja atestada.

A depressão do sistema nervoso central com perda da sensibilidade, sendo essa uma condição essencial para que a anestesia geral seja assim denominada, aliada a uma resposta cardiorrespiratória segura e compatível com a vida, serão fatores determinantes para a designação de produtos elegíveis para uso como anestésicos em peixes. Ademais, desse modo não incorreremos no risco de submeter peixes a sofrimento, dor e à eutanásia sob condições inadequadas e com implicações éticas importantes.

## 5. REFERÊNCIAS


Aydın, B., Barbas, L.A.L., 2020. Sedative and anesthetic properties of essential oils and their active compounds in fish: A review. Aquaculture, 520, 734999. doi: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734999

Ashley, P. J., Sneddon L. U., McCrohan C. R., 2007. Nociception in fish: stimulus-response properties of receptors on the head of trout *Oncorhynchus mykiss*. Brain Research 1166:47–54.

Azambuja, C. R., J. Mattiazzi, A. P. K. Riffel, I. A. Finamor, L. O. Garcia, C. G. Heldwein, B. M. Heinzmann, B. Baldisserotto, M. A. Pavanato & S. F. Llesuy. 2011. Effect of the essential oil of *Lippia alba* on oxidative stress parameters in silver catfish (*Rhamdia quelen*) subjected to transport. Aquaculture, 319: 156–161.

Barbas, L. A. L., Stringhetta, G. R., Garcia, L. de O., Figueredo, M. R. C., Sampaio, L. A. 2016. Jambu, *Spilanthes acmella* as a novel anaesthetic for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*: Secondary stress responses during recovery. Aquaculture, 456: 70–75.

Barbas, L. A. L., Hamoy, M., Mello, V. J., Barbosa, R. P. M., Lima, H. S. T., Torres, M. F., Nascimento, L. A. S., da Silva, J. K. R., Andrade, E. H. A., Gomes, M. R. F. 2017a. Essential oil of citronella modulates electrophysiological responses in tambaqui *Colossoma macropomum*: A new anaesthetic for use in fish. Aquaculture 479: 60–68, doi: dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.027

Barbas, L.A.L., Maltez, L.C., Stringhetta, G.R., Garcia, L. de O., Monserrat, J.M., da Silva, D.T., Heinzmann, B.M., Sampaio, L.A., 2017b. Properties of two plant extractives as anaesthetics and antioxidants for juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. Aquaculture 469: 79–87. doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.12.012

Barbosa, L. G., Moraes, G., Inoue, K. A., Antônio L., 2007. Respostas metabólicas do matrinxã submetido a banhos anestésicos de eugenol. Acta Scientiarum Biological Sciences, 29: 255-260.

Barman, S., Sahu, N., Deka, S., Dutta, S., Das, S., 2009. Antiinflammatory and analgesic activity of leaves of *Spilanthes acmella* (ELSA) in experimental animal models. Pharmaco- logyonline, 1: 1027–34.

Burka, J. F., Hammell, K. L., Horsberg, T. E., Johnson, G. R., Rainnie, D. J., Speare, D. J., 1997. Drugs in salmonid aquaculture - a review. Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics, 20: 333–349.

Cooke, S., Suski, C. D., Ostrand, K. G., Tufts, B. L., Wahl, D. H., 2004. Behavioral and physiological assessment of low concentrations of clove oil anaesthetic for handling and transporting largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Aquaculture, 239: 509–529.

Coyle, S.D., Durborow, R.M., Tidwell, J.H., 2004. Anesthetics in aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication 3900.

Congleton, J.L., 2006. Stability of some commonly measured blood-chemistry variables in juvenile salmonids exposed to a lethal dose of the anaesthetic MS-222. Aquacult. Res. 37: 1146–1149.

Cunha, F. E. A., Rosa, I. L., 2006. Anesthetic effects of clove-oil on seven species of tropical reef fishes (Teleostei). Journal of Fish Biology, 69: 1504–1512.

Cunha M.A., Barros F.M.C., Garcia L.O., Veeck A.P.L., Heinzmann B.M., Loro V.L., Emanuelli T., Baldisserotto B., 2010. Essential oil of *Lippia alba*: A new anaesthetic for silver catfish, *Rhamdia quelen*. Aquaculture 306, 403–404.

Cunha, M. A., B. F. Silva, F. A. C. Delunardo, S. C. Benovit, L. C. Gomes, B. M. Heinzmann, B. Baldisserotto. 2011. Anesthetic induction and recovery of *Hippocampus reidi* exposed to the essential oil of *Lippia alba*. Neotropical Ichthyology, 9: 683–688.

Daskalova, A. H., Bracke, M. B. M., van de Vis, J. W., Roth, B., Reimert, H. G. M., Burggraaf, D., Lambooij E. 2016. Effectiveness of tail-first dry electrical stunning, followed by immersion in ice water as a slaughter (killing) procedure for turbot (*Scophthalmus maximus*) and common sole (*Solea solea*). Aquaculture, 455: 22–31

de Souza, A. da S.L., Peret, A.C., Hamoy, M., de Souza, R.A.L., Torres, M.F., Barbas, L.A.L., 2019. Propofol and essential oil of *Nepeta cataria* induce anaesthesia and marked myorelaxation in tambaqui Colossoma macropomum: Implications on cardiorespiratory responses. Aquaculture 500, 160–169. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.017

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (The) State of World Fisheries and Aquaculture. 2020. 244p.

Fujimoto, R. Y., Pereira, D. M., Silva, J. C. S., de Oliveira, L. C. A., Inoue, L. A. K. A., Hamoy, M., de Mello, V. J., Torres, M. F., Barbas, L. A. L. 2017. Clove oil induces anaesthesia and blunts muscle contraction power in three Amazon fish species. Fish Physiol Biochem, 44, 245–256. doi: 10.1007/s10695-017-0430-8

Gilderhus, P. A., Marking, L. L., 1987. Comparative efficacy of 16 anaesthetic chemicals on rainbow trout. North American Journal of Fisheries and Management, 7: 288–292.

Golombieski, J.I., Silvia, L.V.F., Baldisserotto, B., Da Silva, J.H.S., 2003. Transport of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fingerlings at different times, load densities, and temperatures. Aquaculture 216, 95–102.

Gomes, L. C., Golombieski, J. I., Chippari-Gomes, A. R., Baldisserotto, B., 1999. Effect of salt in the water for transport on survival and on $Na^+$ and $K^+$ body levels of silver catfish, *Rhamdia quelen*, fingerlings. J. Appl. Aquacult. 9, 1–9.

Gonçalves, A. F. N., Santos, E. C. C., Fernandes, J. B. K., Takahashi, L. S., 2008. Menthol and eugenol as benzocaine substitutes in anesthetic induction of pacu juveniles. Acta Scientiarum Animal Sciences 30, 339–344.

Hajek, G. J., Klyszejko, B., Dziaman, R., 2006. The anaesthetic effect of clove oil on comman carp, *Cyprinus carpio* L. Acta Ichthyologica *et Piscatoria*, 36: 93–97.

Heo, G. J., Shin, G., 2010. Efficacy of benzocaine as an anaesthetic for Crucian carp (*Carassius carassius*). Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 37: 132–135.

Inoue, L. A. K. A., Afonso L. O. B., Iwama G. K., Moraes, G., 2005. Effects of clove oil on the stress response of matrinxã (*Brycon cephalus*) subjected to transport. Acta Amazonica, 35: 289–295.

Iversen, M., Finstad, B., Mckinley, R. S., Eliassen, R. A., 2003. The efficacy of metomidate, clove oil, Aqui-S (TM) and Benzoak (R) as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. Aquaculture, 221: 549–566.

Keene, J. L., Noakes, D. L. G., Moccia, R. D., Soto C. G., 1998. The efficacy of clove oil as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquaculture Research 29, 89–101.

King, W.V., Hooper, B., Hillsgrove, S., Benton, C., Berlinsky, D., 2005. The use of clove oil, metomidate, tricaine methanesulphonate and PE for inducing anaesthesia and their effect on the cortisol stress response in black sea bass (*Centropristis striata* L.). Aquaculture Research, 36: 1442–1449.

Lambooij, B., Bracke, M., Reimert, H., Foss, A., Imsland, A., van de Vis, H. 2015. Electrophysiological and behavioural responses of turbot (*Scophthalmus maximus*) cooled in ice water. Physiology & Behavior, 149: 23–28.

Lushchak, V. I., Lushchak, L. P., Mota, A., Hermes-Lima, M., 2001. Oxidative stress and antioxidant defenses in goldfish *Carassius auratus* during anoxia and reoxygenation. American Journal of Physiology, 280: 100–107.

McFarland, W.N. 1959. A study of the effects of anaesthetics on the behaviour and physiology of fishes, Publ. Inst. Mar. Sci. 6: 22–55.

Mylonas, C.C., Cardinaletti, G., Sigelaki, I., Polzonetti-Magni, A., 2005. Comparative efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol as anaesthetics in the aquaculture of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*) at different temperatures. Aquaculture, 246: 467–481.

Neiffer D. L., Stamper, M. A., 2009. Fish sedation, analgesia, anesthesia, and euthanasia: Considerations, methods, and types of drugs. Institute for Laboratory Animal Research Journal, 50: 343–360.

Nomura, E. C. O., Rodrigues, M. R. A., Silva, C. F., Hamm, Nascimento, L. A., A. M., Souza, L. M., Cipriani, T. R., Baggio, C. H., Werner, M. F. P., 2013. Antinociceptive effects of ethanolic extract from the flowers of *Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen in mice, Journal of Ethnopharmacology, 150: 583–589 doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2013.09.007.

Parodi, T. V., Cunha M. A., Heldwein, C. G., de Souza, D. M., Martins, Á. C., Garcia L. O., Wasielesky, W. JR., Monserrat J. M., Schmidt, D., Caron, B. O., Heinzmann, B., Baldisserotto, B., 2012. The anesthetic efficacy of eugenol and the essential oils of *Lippia alba* and *Aloysia triphylla* in post-larvae and sub-adults of *Litopenaeus vannamei* (Crustacea, Penaeidae). Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology & Pharmacology 155, 462–468.

Popovic N. T., Strunjak-Perovic I., Coz-Rakovac R., Barisic J., Jadan M., Beracovic, A. P., Klobucar, R. S., 2012. Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia. J Appl Ichthyol, 28: 553–564.

Prachayasittikul V., Prachayasittikul S., Ruchirawat S., Prachayasittikul V., 2013. High Therapeutic potential of *Spilanthes acmella*: A review. EXCLI Journal, 12: 291–312.

Pramod, P. K., Ramachandran, A., Sajeevan, T. P., Thampy, S., Pai, S. S., 2010. Comparative efficacy of MS-222 and benzocaine as anaesthetics under simulated transport conditions of a tropical ornamental fish *Puntius filamentosus* (Valenciennes). Aquaculture Research, 31: 309–314.

Readman G. D, Owen S. F, Murrell J. C, Knowles T. G., 2013. Do Fish Perceive Anaesthetics as Aversive? PLoS ONE 8 (9): e73773. doi:10.1371/ journal.pone.0073773.

Ross, L. G., Ross, B., Anaesthetic and Sedative Techniques for Aquatic Animals. Oxford, UK, Blackwell Publishing. 2008. p. 222.

Roubach, R., Gomes, L. C., Fonseca, F. A. L., Val, A. L., 2005. Eugenol as an efficacious anaesthetic for tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier). Aquaculture Research, 36: 1056–1061.

Silva, L. L., Parodi, T. V., Reckziegel, P., Garcia, V. O., Bürger, M. E., Baldisserotto, B., Malmann, C. A., Pereira, A. M. S., Heinzmann, B. M., 2012. Essential oil of *Ocimum gratissimum* L.: anesthetic effect, mechanism of action and tolerance in silver catfish, *Rhamdia quelen*. Aquaculture 350–353, 91–97. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.04.012.

Sneddon, L. U., 2012. Clinical Anesthesia and Analgesia in Fish. Journal of Exotic Pet Medicine, 21: 32–43.

Svoboda, M., Kolarova, J., 1999. A survey of anaesthetics used in the fish farming. Health Protection of Fish - Proceeding of Papers. Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology Vodňany, pp. 49–72.

Treves-Brown, K. M. Anaesthesia. In: Treves-Brown, K. M. (Ed.), Anaesthetics in Applied Fish Pharmacology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 2000. p. 206–217.

Vilhena, C.S., do Nascimento, L.A.S., de Aguiar Andrade, E.H., da Silva, J.K.R., Hamoy, M., Torres, M.F., Barbas, L.A.L., 2019. Essential oil of *Piper divaricatum* induces a general anaesthesia-like state and loss of skeletal muscle tonus in juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*. Aquaculture 510, 169–175. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.05.057.

Walsh, C. T., Pease, B. C., 2002. The use of clove oil as an anaesthetic for the long finned eel, *Anguilla reinhardtii* (Staindachener). Aquaculture Research, 33: 627–635.

Weber, R. A., Peleteiro, J. B., García Martín, L. O., Aldegunde, M., 2009. The efficacy of 2-phenoxyethanol, metomidate, clove oil and MS-222 as anaesthetic agents in the Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858). Aquaculture, 288: 147–150.

Weber III, E. S., 2011. Fish analgesia: pain, stress, fear aversion, or nociception? Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice Journal, 14: 21–32.

Yoshikawa, H., Yokoyama, Y., Ueno, S. Mitsuda, H., 1991. Electroencephalographic spectral analysis in carp, *Cyprinus carpio*, anesthetized with high concentrations of carbon dioxide. Comp. Biochem. Physiol. 98A: 437–444.

Yoshikawa, H., Kawai, F., Kanamori, M., 1994. The relationship between the EEG and brain pH in carp, Cyprinus carpio, subjected to environmental hypercapnia at an anesthetic level. Comparative Biochemistry and Physiology 107A: 307–312.

# CAPÍTULO 21

# PARASITISMO E SEUS EFEITOS SANGUÍNEOS E HISTOPATOLÓGICOS EM PEIXES

*Data de aceite: 01/02/2021*

*Data de Submissão: 27/11/2020*

**Marcos Tavares-Dias**
EMBRAPA Amapá
Macapá – Amapá
http://lattes.cnpq.br/9187049744585856

**Edsandra Campos Chagas**
EMBRAPA Amazônia Ocidental
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/5384445167700495

**Patricia Oliveira Maciel**
EMBRAPA Pesca e Aquicultura
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/5589512332249547

**RESUMO:** Estudos de parâmetros sanguíneos e histopatológicos são úteis no diagnóstico de doenças parasitárias em peixes. Embora algumas espécies de parasitos quando em baixa abundância podem não causar alterações sanguíneas e histopatológicas, outras espécies são patogênicas. Espécies de protozoários, microparasitos, monogeneas, digeneas, cestoides, nematoides e crustáceos têm causado principalmente redução nos parâmetros eritrocitários (número de eritrócitos, hematócrito, concentração de hemoglobina, índices hematimétricos e variação no número de leucócitos) e a resposta dos parâmetros bioquímicos é variável. Protozoários, microparasitos e monogeneas, os quais têm as brânquias como principal sítio de infecção, provocam lesões agudas como hipertrofia, edema, necrose e descamação epitelial, e nas lesões crônicas hiperplasia, fusão das lamelas e necrose quando em alta intensidade. Crustáceos e endohelmintos como digenea, cestoides, nematoides e acantocéfalos apresentam patogenicidade variável de acordo com a espécie, abundância de infecção, órgão afetado e profundidade de penetração do parasito no tecido do hospedeiro. Respostas inflamatórias locais ou difusas, além de desorganização do tecido e necrose são sinais comuns nessas infecções. Conhecer as alterações nos parâmetros sanguíneos, bem como da estrutura dos tecidos, nas espécies de peixes parasitadas por diferentes grupos, auxilia no diagnóstico, monitoramento e controle das doenças parasitárias, permitindo assim a adoção de ações para evitar a disseminação de enfermidades.

**PALAVRAS-CHAVE**: hematologia, histopatologia, parasitos de peixes, doenças de peixes, aquicultura.

## FISH PARASITES AND HEMATOLOGICAL AND HISTOPATHOLOGICAL EFFECTS

**ABSTRACT:** Studies of blood and histopathological parameters are useful in the diagnosis of parasitic diseases in fish. Although some species of parasites when in low abundance may not cause blood and histopathological changes, other species are pathogenic. Species of protozoans, microparasites, monogeneans, digeneans, cestodes, nematodes and crustaceans have caused mainly increase in erythrocytic parameters (erytrocytes, hematocrit, hemoglobin concentration, hematimetric indices and variations in leukocity number). Regarding the biochemical parameters the response is variable. Protozoans, microparasites and monogeneans, which have gills as the main infection site, cause acute lesions such as hypertrophy, edema, necrosis and epithelial

desquamation, and in chronic lesions hyperplasia, lamella fusion and necrosis when in high intensity. Parasites crustacean and endohelminth such as digeneans, cestodes, nematodes and acanthocephalans have variable pathogenicity according to the species, abundance of infection, affected organ and depth of penetration of the parasite in the host tissues. Local or diffuse inflammatory responses, in addition to tissue disorganization and necrosis are common signs in these infections. Knowing the changes in blood parameters, as well as tissue structure of fish parasitized by different groups helps in the diagnosis, monitoring and control of diseases caused by parasites, and thus allows the adoption of actions to prevent the spread of diseases.
**KEYWORDS:** fish hematology, fish histhopatology, fish parasites, fish diseases, aquiculture.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os peixes representam um importante recurso econômico para diferentes países ao redor do mundo, pois são uma das fontes econômicas e promissoras de proteína animal como alimento para o homem (FAO, 2018). O papel do pescado como mercadoria alimentar ganhou relevância devido ao seu valor nutricional, especialmente em função do alto teor de proteínas e ácidos graxos ômega que auxiliam na saúde humana (Mohanty et al., 2019; Zhang et al., 2020). Entretanto, destaca-se que os peixes são um dos maiores grupos de vertebrados com elevada diversidade de parasitos, devido especialmente à influência do meio aquático nos processos de infecção (Noga, 2010).

Os peixes coexistem em um equilíbrio com parasitos no ambiente, seja natural ou de criação. Porém, quando esse equilíbrio é rompido, quer seja por alterações nas condições ambientais ou por outros fatores, a doença pode se instalar (Noga, 2010). Estudos atuais mostram que a aquicultura pode enfrentar os efeitos do aquecimento global, e que a exposição de *Colossoma macropomum* (tambaqui) durante sete dias ao aumento da temperatura e do dióxido de carbono causou aumento rápido do parasitismo por monogeneas, com alteração nos parâmetros hematológicos e bioquímicos, e na expressão dos genes pró-inflamatórios, influenciando na diminuição da imunidade dos peixes (Costa e Val, 2020).

Implicações diretas nos peixes com alterações das respostas fisiológicas, que comprometem o bem-estar e sobrevivência dos animais são observadas com frequência em sistemas de criação intensiva, devido ao uso de elevadas densidades de destocagem, dentre outras práticas de manejo que por vezes são utilizadas de forma inadequada (Costa et al., 2019). Nesse sentido, o uso de boas práticas no manejo, especialmente o monitoramento das condições de saúde dos peixes são de vital importância para detectar a ocorrência de doenças ainda no início, e assim evitar a disseminação na piscicultura (Tavares-Dias e Martins, 2017).

Estudos sobre os parâmetros sanguíneos e histopatológicos são úteis no diagnóstico de doenças em peixes, bem como nas investigações sobre a extensão e compreensão dos danos causados por parasitos nos diversos tecidos dos hospedeiros, em indivíduos e populações de peixes parasitados (Marinho et al., 2015; Rocha et al., 2018; De Oliveira et al., 2019; Lehmann et al., 2020; Rivadeneyra et al., 2020). As avaliações desses parâmetros ajudam a entender os processos fisiológicos nos hospedeiros para manutenção

da homeostase orgânica frente a ação de diferentes grupos de parasitos, assim como os efeitos deletérios dos parasitos em seus hospedeiros (Lehmann et al., 2020; Mazur et al., 2020; Sousa et al., 2020). Diversos estudos utilizando ferramentas hematológicas e histopatológicas, bem como sua relação com o parasitismo, têm demonstrado alterações similares provocadas por determinados grupos de parasitos em várias espécies de peixes de diferentes partes do mundo (Biller et al., 2020; Lehmann et al., 2020; Rivadeneyra et al., 2020; Sales et al., 2020).

Os mecanismos imunológicos nas doenças parasitárias desempenham um papel considerável na regulação dos processos patológicos. Isso ocorre devido ao funcionamento dos diferentes constituintes da resposta imunológica no organismo dos peixes, dentre os quais um conjunto de células imunocompetentes, precursores de leucócitos formados em órgãos imunes e leucócitos circulantes (Dezfuli et al., 2016; Souza et al., 2019). A resposta imunológica é direcionada para supressão do desenvolvimento e eliminação de parasitos. Porém, muitos parasitos são altamente patogênicos para a população de peixes e usam o organismo desses hospedeiros como meio para a sua atividade vital, a reprodução (Mazur et al., 2020).

Assim, no presente capítulo, compilamos informações sobre os estudos de parâmetros sanguíneos e histopatológicos de várias espécies de peixes parasitados pelos principais grupos de importância para a piscicultura, com objetivo de solidificar as informações sobre as principais alterações em peixes infestados/infectados, de forma a auxiliar o diagnóstico, monitoramento e controle das doenças causadas por parasitos, assim como auxiliar nas decisões para evitar a disseminação dessas enfermidades.

## 2 | INFECÇÃO POR PROTOZOÁRIOS

Os protozoários são em sua maioria ectoparasitos que se alojam na superfície corporal e brânquias de seus hospedeiros, ocorrendo especialmente em ambientes de criação com problemas de qualidade da água. As espécies mais comuns de protozoários são ciliados e dinoflagelados (Eiras et al., 2010).

Os tricodinídeos possuem cílios em formato de franja na região dorsal e um disco adesivo com dentículos, estruturas que auxiliam a fixação e alimentação das pequenas partículas em suspensão na água. Sua multiplicação se dá por fissão binária e em altas intensidades causam lesão dos tecidos, produção excessiva de muco, hemorragias pontuais, hiperplasia e infecções secundárias (Maciel et al., 2017).

Outro ciliado, *Ichthyophthirius multifiliis*, tem distribuição geográfica mundial e provoca a ictiofitiríase ou doença dos pontos brancos em peixes. O parasito popularmente conhecido como “ictio” tem como sua forma infectante, o teronte, que quando se desenvolve no sítio de infecção se torna trofonte de formato esférico e um macronúcleo característico em forma de ferradura. O principal sítio de infecção são as brânquias e o tegumento (Noga, 2010), no entanto, a ocorrência de trofozoítos em sítios menos comuns, como cavidade oral e olhos, foram registrados especialmente em peixes menores (Ishikawa et al., 2011). No Brasil, a infecção por *I. multifiliis* causa prejuízos importantes principalmente para a produção de *Rhamdia* sp. (jundiás) na região Sul (Baldisserotto et al., 2020), pois seu

ciclo de vida é favorecido em baixas temperaturas, aumentando consideravelmente a intensidade parasitária e provocando a morte de juvenis em poucos dias.

O dinoflagelado *Piscinoodinium pillulare*, por sua vez, provoca grandes prejuízos em peixes de cultivo em todas as fases da criação. O parasito *P. pillulare* têm sido associado a grandes surtos epizoóticos, já que se alastram rapidamente, sendo sua ocorrência registrada em diversas regiões brasileiras, especialmente em peixes redondos como *C. macropomum*, *Piaractus brachypomus* (pirapitinga), *Piaractus mesopotamicus* (pacu), híbridos *C. macropomum* x *P. mesopotamicus* (tambacu) e *C. macropomum*x *P. brachypomus* (tambatinga) (Martins et al., 2001a; Sant´Ana et al., 2012; Santos et al., 2013; Ferreira-Júnior et al., 2018). Epizootias causadas por *P. pillulare* também foram relatadas na Península da Malásia, em *Ctenopharyngodon idella* (carpa-capim), *Aristichthys nobilis* (carpa cabeça-grande), *Leptobarbus hoevenii* (jelawat) e *Puntius gonionotus* (lampam jawa) (Shaharom-Harrison et al., 1990). Os peixes parasitados apresentam uma coloração ferrugem, principalmente nas brânquias e superfície corporal, podem ter dificuldades de respiração e frequentemente há evolução para óbito (Iwashita e Maciel, 2013).

## 2.1 Parâmetros Sanguíneos

Em peixes, os estudos hematológicos tiveram seu início na década de 1940 (Fazio et al., 2019). Desde então, houve um aumento considerável na literatura relativa à hematologia e diferentes técnicas de análises sanguíneas em peixes, aumentando o conhecimento sobre os parâmetros sanguíneos de diferentes espécies. Os parâmetros hematológicos são uma ferramenta importante para avaliar mudanças fisiológicas e patológicas, e são usados por pesquisadores de peixes em muitas partes do mundo (Ranzani-Paiva et al., 2013; Fazio et al., 2019), incluindo o Brasil. Assim, variações qualitativas e quantitativas de parâmetros hematológicos têm sido relatadas para diferentes espécies de peixes, uma vez que essas informações podem ser usadas em diagnóstico e prognóstico do estado de saúde em uma população de peixes (Tavares-Dias, 2015). Valores basais têm sido estabelecidos para diferentes populações de peixes naturais e cultivados, e embora muitas vezes seja difícil interpretar os parâmetros sanguíneos devido às variações causadas por fatores bióticos e abióticos, adicionalmente ênfase tem sido dada aos efeitos do parasitismo na hematologia de populações de peixes (Tavares-Dias, 2015).

Em *Cyprinus carpio* infectado por *I. multifiliis* não houve alteração nos níveis de hemoglobina (Hines e Spira, 1974) e número total de leucócitos, mas o percentual de linfócitos e neutrófilos variaram com o tempo de infecção (Hines e Spira, 1973). Em *Mugil platanus* infestado por trichodinídeos não houve alteração na concentração de hemoglobina, número de eritrócitos, volume corpuscular médio (VCM), percentual de linfócitos, monócitos, neutrófilos e basófilos (Ranzani-Paiva et al., 1997). Alterações sanguíneas provocadas por *I. multifiliis*, trichodinídeos e *P. pillulare* são apresentadas na Tabela 1.

## 2.2 Histopatologia

As brânquias, órgãos responsáveis pelas trocas gasosas e osmorregulação, são alvos de diversos parasitos, especialmente de espécies de protozoários e monogeneas. As alterações branquiais, que caracterizam as respostas do hospedeiro a esses parasitos, apresentam um padrão caracterizado nas lesões agudas de hipertrofia, edema, necrose

e descamação epitelial, e nas lesões crônicas ocorre hiperplasia, fusão das lamelas e necrose (Saraiva, 2006). Além disso, ocorrem alterações hemodinâmicas, inflamatórias e degenerativas associadas a comportamentos que demonstram incapacidade respiratória dos peixes (Schalch et al., 2006).

Nas brânquias de *P. mesopotamicus*, devido a associação de *Trichodina* sp., cistos de *Henneguya* sp. e *Anacanthorus penilabiatus* foi registrada hiperplasia epitelial e de mucosa, fusão lamelar e edema sub-epitelial. Os peixes apresentavam-se apáticos, nadando na superfície, próximos à entrada de água dos viveiros (Schalch et al., 2006). De forma similar, o exame histopatológico das brânquias de peixes acometidos por *I. multifiliis*, revelou que na fase infectante os terontes ficam aderidos à base das lamelas branquiais, recobertos por uma camada de tecido epitelial, como forma de encapsulamento do protozoário por células epiteliais hiperplásicas do hospedeiro (Ventura e Paperna, 1985; Martins e Romero, 1996). Numerosas células de alarme e células caliciformes podem ser observadas no epitélio circundante que recobre o parasito, assim como células inflamatórias tais como neutrófilos, macrófagos e linfócitos, os quais podem estar presentes imediatamente abaixo do parasito, na derme (Dickerson, 2012).

Steckert et al. (2018) realizando uma avaliação histopatológica em *Oreochromis niloticus* (tilápia-do-nilo) encontararam infecção branquial causada por *Trichodina* spp., *I. multifiliis*, *Cichlidogyrus sclerosus* e *Cichlidogyrus halli*. As alterações histopatológicas observadas foram infiltração inflamatória mononuclear, descolamento epitelial, congestão da lamela primária, hemorragia e hiperplasia epitelial da lamela secundária, infiltrado inflamatório granular eosinofílico, fusão lamelar, telangiectasia, epiteliociste, dilatação do seio venoso, entre outros.

Considerando que as brânquias são o principal sítio da infecção por *P. pillulare*, a patogenia provocada por este parasito pode causar um aumento na produção de muco, hiperplasia branquial, inflamação, hemorragia e necrose (Noga, 2010). As alterações histopatológicas evidenciadas para as espécies *C. idella*, *L. hoevenii*, *A. nobilis* e *P. gonionotus* foram fusão das lamelas branquiais e trofontes aparentes nas cavidades, devido à fusão das lamelas adjacentes (Shaharom-Harrison et al., 1990). Em peixes *Brochis splendens* e *Corydoras* spp. infestados por *Piscinoodinium* sp., foram registrados hipertrofia epitelial, hiperplasia focal e difusa, edema do epitélio respiratório e fusão lamelar (Ferraz e Sommerville, 1998). Outras alterações teciduais provocadas por protozoários são apresentadas na Figura 1 e Tabela 2.

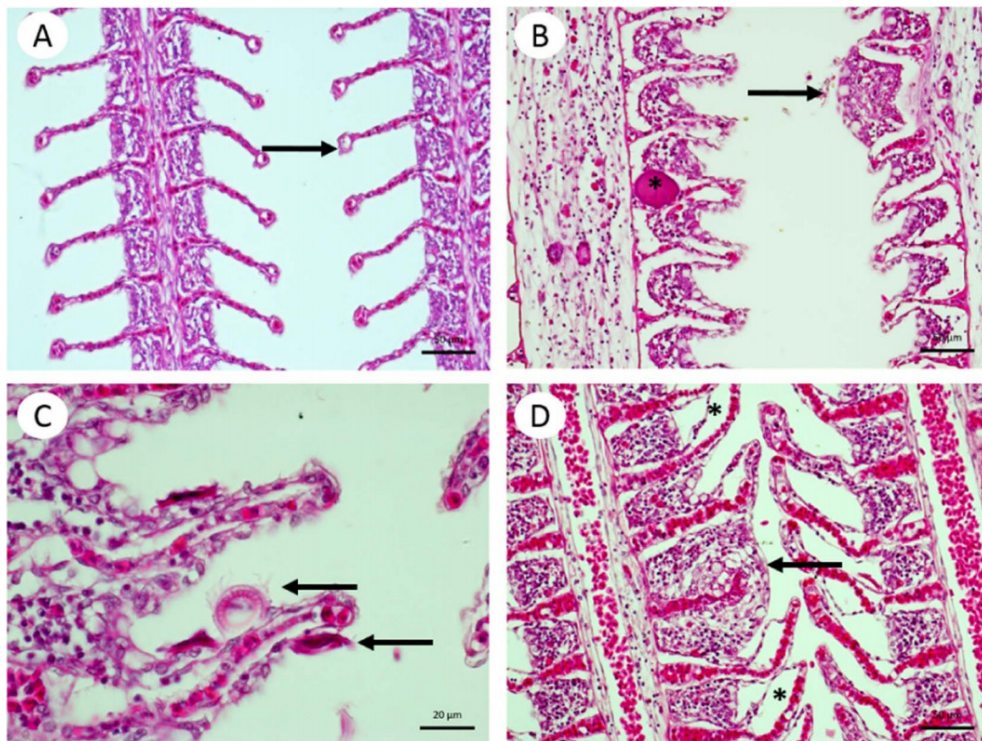



Figura 1. Alterações histopatológicas nas brânquias de *Oreochromis niloticus*. A. dilatação do seio venoso (seta). B. Fusão lamelar focal (seta), epiteliociste focal (asterisco). C. Presença de *Trichodina* sp. na superfície epitelial. D. Hiperplasia epitelial lamelar secundária com fusão lamelar focal (seta), descolamento epitelial (asterisco). Fonte: Steckert et al. (2018).

## 3 | INFECÇÕES POR MICROPARASITOS

Microparasitos de diversos grupos ocorrem em peixes e entre esses estão espécies de Cnidaria e Protistas flagelados. Os Protistas são um dos maiores e mais diversos grupos de eucariontes e tem grande importância no funcionamento da teia alimentar mediando a transferência de matéria orgânica e energia entre diferentes níveis tróficos. Nesse grupo há diversas espécies que são parasitos obrigatórios de peixes e possuem ciclo de vida direto. Entre os cnidários estão aqueles parasitos obrigatórios de peixes, em formas de cistos com numerosos esporos. Estes cistos são frequentemente encontrados nos arcos e filamentos branquiais, fígado, baço e bexiga natatória. Espécies desse filo são encontradas na forma de esporos em mixosporídeos e possuem ciclo de vida que exige, em geral, dois hospedeiros, sendo os peixes os hospedeiros intermediários (Pavanelli et al., 2008).

### 3.1 Parâmetros Sanguíneos

Em *Salmo salar* (salmão do Atlântico) infectados por *Spirunucleus barkhanus* houve flutuação no hematócrito de acordo com a intensidade parasitária (Guo e Woo, 2004). Porém, em *Synbrachus marmoratus* (muçum), independente dos níveis de infecção por *Cyrilla gomesi* não houve alterações no hematócrito, hemoglobina, percentual de linfócitos,

monócitos e neutrófilos (Nakamoto et al., 1991). Em *Pterygoplichthys pardalis* (cascudo acari) infectados por *Trypanosoma* sp. não houve alterações nos níveis de aspartato aminotransferase (AST), glicose, número total de eritrócitos, leucócitos e trombócitos, hematócrito, concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM) e VCM (Sousa et al., 2020). Outras alterações sanguíneas provocadas por microparasitos são apresentadas na Tabela 1.

## 3.2 Histopatologia

*Centropomus undecimalis* (robalo) naturalmente infectados por mixosporídeos e monogeneas apresentaram alterações severas nas brânquias como hiperplasia epitelial com fusão interlamelar, hiperplasia das células mucosas, congestão, aneurismas e necrose dos filamentos branquiais. Cistos de mixosporídeos foram encontrados na área central do filamento, assim como diversos monogeneas entre as lamelas hiperplásicas e com excesso de muco (Cantanhêde et al., 2018).

*Piaractus mesopotamicus* parasitados por mixosporídeos *Henneguya* sp. nas lamelas secundárias, e *Myxobolus* sp. no rim, apresentaram alterações histopatológicas. Nas brânquias observou-se plasmódios contendo esporos de *Henneguya* sp., com localização intralamelar e intravascular. No rim, foram observados esporos de *Myxobolus* sp., na região peritubular e no interstício e glomérulo, circundados por melanomacrófagos (Manrique et al., 2012).

Nas brânquias de surubim híbridos *Pseudoplatystoma reticulatum* × *P. corruscans* infectados por *Henneguya pseudoplatystoma*, observou-se esporos em vários estágios de desenvolvimento, hiperplasia, hipertrofia de células epiteliais, fusão lamelar, congestão de vasos sanguíneos, aneurismas e infecção no tecido ósseo do filamento branquial (Sales et al., 2020). Porém, outros estudos e danos teciduais provocados por microparasitos são apresentados na Figura 2 e Tabela 2.

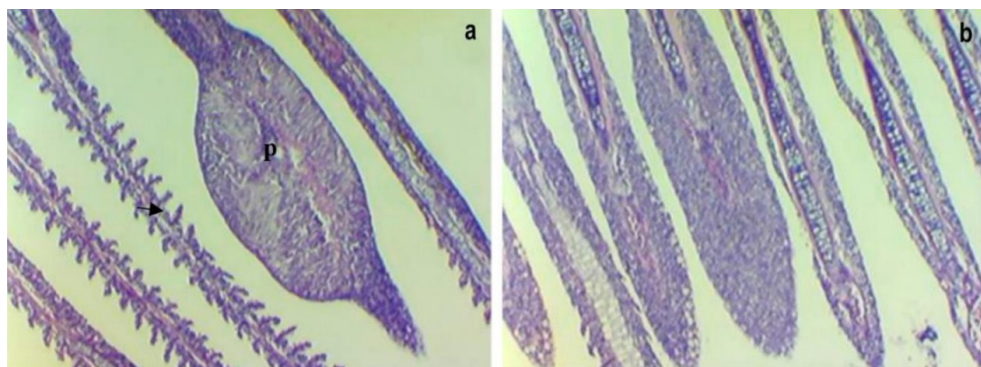



Figura 2. Alterações histopatológicas nas brânquias de *Pseudoplatystoma corruscans* infectados por *Henneguya pseudoplatystoma* n. sp. A. Plasmódios (p), deformação da estrutura dos filamentos branquiais (seta). B. Necrose difusa das lamelas e filamentos branquiais. Fonte: Sales et al. (2020).

## 4 I INFECÇÕES POR MONOGENEAS

Monogenea é uma classe de Platyhelmintes composta exclusivamente por parasitos com ciclo de vida monoxeno, o que possibilita a sua rápida proliferação e disseminação no ambiente de cultivo. Apresentam estruturas esclerotizadas na região posterior do corpo, o haptor, que é o seu órgão de fixação. A maioria das espécies são ectoparasitos, ocorrerendo principalmente na superfície corporal, brânquias e narinas dos peixes (Noga, 2010; Takemoto et al., 2013). A maioria das espécies apresenta especificidade parasitária, sendo dependentes dos seus peixes hospedeiros para fixação e alimentação e têm alta diversidade (Takemoto et al., 2013). Podem causar irritações, prurido e secreções excessivas de muco no corpo e brânquias dos peixes hospedeiros (Takemoto et al., 2013). Elevada infecção pode ocasionar a mortalidade de peixes devido a problemas respiratórios, além de importantes alterações sanguíneas (Tabela 1) e histopatológicas (Tabela 2).

### 4.1 Parâmetros Sanguíneos

Em *P. mesopotamicus* parasitados por *A. penilabiatus* e *P. pillulare*, o hematócrito, hemoglobina, linfócitos, neutrófilos, leucócitos granular PAS-positivo (LG-PAS) e eosinófilos não foram influenciados pela intensidade de infecção (Tavares-Dias et al., 2008). Em *Leporinus macrocephalus* (piau-açu), as baixas taxas de intensidade de infecção por monogeneas e *P. pillulare* não influenciaram no hematócrito, hemoglobina, linfócitos, monócitos e basófilos dos peixes (Tavares-Dias et al., 2008). Em híbridos tambacu infectados por monogeneas e *P. pillulare,* o hematócrito, hemoglobina, linfócitos, neutrófilos, monócitos, LG-PAS e eosinófilos não foram influenciados pela baixa intensidade de infecção (Tavares-Dias et al., 2008).

Em *Mugil platanus* (tainha) infestado por monogeneas não houve alteração na concentração de hemoglobina, hematócrito, número total de eritrócitos, VCM, percentual de linfócitos, monócitos, neutrófilos e basófilos (Ranzani-Paiva et al., 1997). Em *Schizodon borelli* (piau) e *Prochilodus lineatus* (curimatã), baixo parasitismo por dactilogirídeos não causou alterações nos parâmetros eritrocitários (eritrócitos, hematócrito, VCM, CHCM) e leucocitários (linfócitos, monócitos, neutrófilos, basófilos, eosinófilos e LG-PAS) (Ranzani-Paiva et al., 2000). Similarmente, em *Lutjanus guttatus* (peixe-vermelho), a infecção por dactilogirídeos não causou alterações do número total de eritrócitos, hematócrito, hemoglobina, níveis séricos de proteína total, VCM e CHCM (Del Rio-Zaragoza et al., 2010). Infecção por *A. spathulatus* em *C. macropomum* também não afetou o número de eritrócitos, hematócrito, hemoglobina, VCM, CHCM e leucócitos totais (Soberon et al., 2014).

### 4.2 Histopatologia

Similarmente ao que ocorre nas alterações branquiais provocadas por protozoários, a parasitose por monogeneas causa hipertrofia, edema, necrose e descamação epitelial na fase aguda e hiperplasia, fusão das lamelas e necrose na fase crônica da infecção (Saraiva, 2006). A presença de monogenea nas brânquias de *O. niloticus* provocou hiperplasia e fusão de lamelas branquiais secundárias, bem como infiltração intensa de células inflamatórias mononucleares (Younis et al., 2020).

Em *Dicentrarchus labrax* (European bass), mortalidades têm sido atribuídas às altas

infecções por monogeneas *Diplectanum aequans*. Nos locais de fixação foram observadas hemorragias e exsudado inflamatório. Houve indução de hiperplasia, ruptura e fusão das lamelas secundárias, erosão e inflamação do epitélio das lamelas primárias e secundárias (Dezfuli et al., 2007). Porém, em *Seriola dumerili* (greater amberjack), a infecção por monogeneas *Neobenedenia girellae* causou alteração sistêmica com degeneração vacuolar de hepatócitos, necrose celular e congestão hepática em 40% dos peixes infectados. Além disso, foi obervada a presença de muitas células epiteliais tubulares, as quais encontravam-se necróticas e fragmentadas em peixes com elevada infecção (Hirazawa et al., 2016).

Campos et al. (2011) avaliando a histopatologia de brânquias de *P. mesopotamicus* e *P. lineatus* com mista infecção por monogeneas e cistos de *Henneguya piaractus*, em vários estágios de desenvolvimento, registraram hiperplasia do epitélio branquial e desorganização estrutural das lamelas, fusão lamelar, presença de células inflamatórias mononucleares e focos hemorrágicos na região distal das lamelas. De forma similar, a ocorrência de monogeneas e cistos de metacercárias provocaram o deslocamento das lamelas branquiais secundárias em sete espécies de siluriformes (Fujimoto et al., 2014). Outros estudos e danos teciduais provocados por monogeneas são apresentados na Figura 3 e Tabela 2.

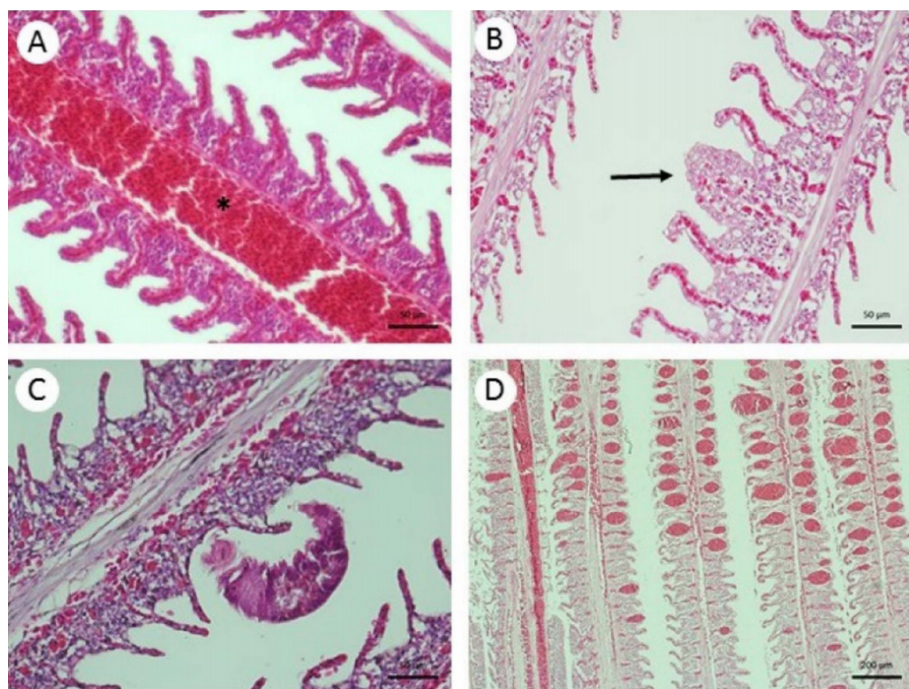



Figura 3. Alterações histopatológicas nas brânquias de *Oreochromis niloticus* causadas por monogeneas. A. Dilatação e congestão vascular do filamento central – asterisco. B. Hiperplasia epitelial da lamela secundária (seta). C. Infiltrado inflamatório eosinofílico no filamento e presença de monogenea.  D. Telangiectasia e hiperplasia dos filamentos branquiais. Fonte: Steckert et al. (2018).

## 5 I INFECÇÕES POR ENDOHELMINTOS

Os diferentes grupos de endohelmintos como digeneas, nematoides, cestoides e acantocéfalos têm um ciclo de vida complexo e geralmente requerem dois ou mais hospedeiros para concluir seu desenvolvimento biológico. O sítio de instalação dos endohelmintos no hospedeiro depende do grupo, espécie e da fase de desenvolvimento, podendo causar alterações hematológicas e histopatológicas específicas.

Digeneas são trematoides Platyhelmintes que se reproduzem como adultos e novamente como larvas, por isso o nome "di-genético" que caracteriza duas gerações. São conhecidas cerca de 70 famílias com mais de 5.000 espécies de parasitos de peixes. Esses vermes achatados têm dois órgãos de fixação semelhantes a ventosas, e em muitos casos os danos são significativos quando os sítios de infecção são extra-intestinais, ou seja, quando estão encistados nos demais tecidos do hospedeiro. Quando no intestino, os danos são quase que totalmente localizados no lúmen intestinal pela fixação e alimentação do parasito (Dezfuli et al., 2016).

Cestoides são endoparasitos que na fase adulta habitam o trato digestório dos hospedeiros, e pelo fato desses parasitos não possuírem sistema digestório absorvem os nutrientes do hospedeiro através do seu tegumento. Nessa fase de vida, podem provocar lesões na superfície da mucosa até perfuração da parede intestinal, alcançando a camada serosa, além de causarem necrose, hemorragia e inflamação nos locais de fixação. Quanto ao estágio larval dos cestoides, este pode causar enterite granulomatosa severa e levar à peritonite com aderências viscerais e até a morte dos peixes (Ferguson, 1989; Eiras et al., 2010).

Nematoides são metazoários, triploblásticos, pseudocelomados com sistema digestório completo, que possuem corpo cilíndrico, alongado, não segmentado e com as extremidades afiladas. O ciclo de vida é heteroxeno com a participação de copépodes planctônicos como hospedeiros intermediários. Os peixes podem ser parasitados por nematoides adultos ou larvas. Esses parasitos infectam vários tecidos e órgãos dos peixes como estômago, intestino, fígado, gônadas, mesentério, cavidade corporal, entre outros (Moravec, 1998; Thatcher, 2006; Eiras et al., 2010). Alterações histopatológicas provocadas por nematoides são destruição e atrofia da mucosa intestinal, necrose e degeneração do tecido intestinal, e podem também, dependendo da espécie de nematoide, causar danos hepáticos (Purivirojkul, 2012; Rivadeneyra et al., 2020).

Acantocéfalos são endoparasitos de peixes que ocorrem em animais da natureza e cultivo (Nickol, 2006). O ciclo de vida desse grupo é indireto, sendo necessário um artrópode como hospedeiro intermediário e um vertebrado como hospedeiro definitivo (Santos et al., 2013). Este parasito é provido de uma probóscide na região anterior, que ao se prender na parede intestinal do hospedeiro causa danos significativos como inflamação, formação de tecido granular, proliferação de tecido conjuntivo e mobilização de células como neutrófilos, linfócitos e fibroblastos, formando uma camada fibrosa composta, junto com os mastócitos locais, no tecido inflamado (Wanstall et al., 1986; Purivirojkul, 2012; Matos et al., 2017).

### 5.1 Parâmetros Sanguíneos

Infecção por digenea *Myosaccium ecaude* em *Sardinops sagax* (sardinha) não afetou

o número total de eritrócitos, hematócrito, níveis séricos de proteína total, glicose, alanina aminotransferase (ALT), sódio, potássio, percentual de linfócitos, monócitos, neutrófilos e eosinófilos (Del Rio-Zaragoza et al., 2018). Assim como, *Clarias gariepinus* (bagre-africano) parasitadas com digenea *Masenia nkomatiensis* não apresentaram alteração no hematócrito, contagem de hemácias e leucócitos (Dumbo e Avenant-Oldewage, 2019).

Em *Schizodon borelli* e *P. lineatus*, baixos níveis de infecção pelo nematoide *Cucullanis pinai* não causou alterações nos parâmetros eritrocitários (eritrócitos, hematócrito, hemoglobina, VCM e CHCM) e leucocitários (linfócitos, monócitos, neutrófilos, basófilos, eosinófilos e LG-PAS) (Ranzani-Paiva et al., 2000). Em *Pimephales promelas* (fathead minnow) e *Siphateles bicolor* (tui chub), baixa infecção por nematoides *Contracaecum* sp. não alterou o número total de eritrócitos, leucócitos e trombócitos, linfócitos, monócitos, neutrófilos e LG-PAS (Martins et al., 2017).

Em *P. lineatus*, baixos níveis de infecção por acantocéfalos *Neoechinorhynchus curemai* não influenciou no número total de eritrócitos, leucócitos, trombócitos, linfócitos, neutrófilo e eosinófilos totais e CHCM (Belo et al., 2013). Alterações sanguíneas provocadas por endohelmintos são apresentadas na Tabela 1.

## 5.2 Histopatologia

Em peixes, a patogenicidade causada por endohelmintos é bastante variável, e está relacionada com a espécie, intensidade da infecção, órgão ou tecido afetado, profundidade de penetração do parasito dentro do tecido do hospedeiro, entre outros fatores (Dezfuli et al., 2016). Como respostas histopatológicas podemos citar o encapsulamento do parasito pelas células de defesa do hospedeiro, inflamação aguda e crônica, necrose, entre outros (Feist e Longshaw, 2008) (Tabela 2).

### *5.2.1 Digenea*

Na infecção por digeneas, os achados histopatológicos podem ser mais amplos em se tratando da presença de parasitos na fase larval, denominada de metacercária, que pode se encistar em diversos órgãos do hospedeiro como fígado, baço, brânquias, rins, musculatura, intestino e olhos, conforme as alterações listadas na Tabela 2. A presença de parasitos adultos no trato intestinal de *C. gariepinus* provocou alterações focais, porém, células deformadas encontradas na abertura oral e intestino do parasito *M. nkomatiensis* sugerem digestão do tecido do hospedeiro pelo parasito (Dumbo e Avenant-Oldewage, 2019), reforçando assim os danos provocados por digeneas em peixes. De forma similar, achados de detritos celulares no intestino de metacercárias de *Diplostomum* sp. dos olhos de *Salvelinus alpinus* (salmão do Ártico) sugerem que as larvas se alimentavam de epitélio retinal do hospedeiro (Padrós et al., 2018).

Exemplo da infecção multifocal provocada por metacercárias de digeneas não identificadas foi relatada em *O. niloticus*. O tecido conjuntivo e adiposo do olho do peixe apresentou edema e leve infiltração de células inflamatórias mononucleares. O exame dos músculos revelou a presença de metacercárias sob a superfície da pele ou incrustadas nas fibras musculares, circundada por leve e intensa reação inflamatória mononuclear, além de áreas com vacuolização dos miócitos e miosite. No fígado, além da presença das

larvas, observaram degeneração vacuolar e alteração gordurosa dos hepatócitos e menos frequentemente necrose hepatocelular difusa maciça. No baço ocorreu hiperatividade dos centros melanomacrófagos. O intestino apresentou infiltrações difusas por células inflamatórias mononucleares com necrose do revestimento epitelial, bem como a presença de parasitos em seu lúmen (Younis et al., 2020).

Em peixes, um sítio de infecção pouco comum é a ocorrência de digeneas encistadas na boca, como ocorreu em *Thunnus atlanticus* (atum-negro). Formas adultas encistadas e massas de ovos de *Didymosulcus philobranchiarca* foram encontradas na cavidade oral, região do palato, circundados por tecido conjuntivo fibroso altamente vascularizado, e com presença de infiltrado inflamatório misto e áreas hemorrágicas circulares. A presença de ovos cercados por melanomacrófagos e hemossiderina sugere ocorrência de migração parasitária na região do palato (Justo et al., 2008). Outros estudos e danos teciduais provocados por digenea são apresentados na Figura 4 e Tabela 2.

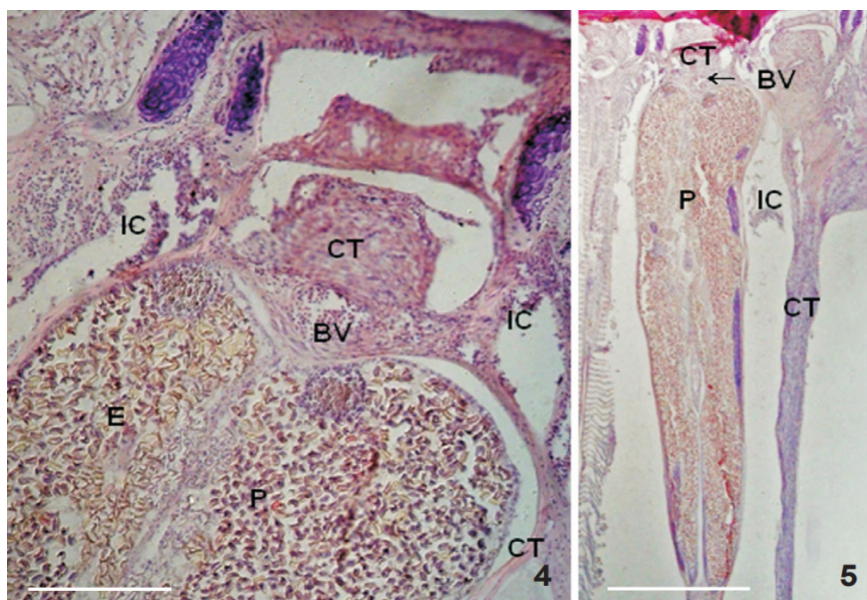



Figura 4. Alterações histopatológicas em brânquias da espécie *Katsuwonus pelamis* parasitadas por *Didymocylindrus simplex*. BV: Vaso sanguíneo, entre o arco branquial e o parasito, com reação fibrótica, CT: leve fibrose do tecido conjuntivo ao redor do parasito, formado por camadas de colágeno e fibroblastos, E:- ovos, IC: células inflamatórias com linfócitos e granulócitos, como monócitos e neutrófilos, P: parasito. Fonte: Justo et al. (2013).

### 5.2.2 Cestoda

A maioria dos cestoides geralmente não induz danos severos no trato digestório dos peixes, provocando danos somente na camada superficial da parede do intestino, no ponto de ligação com o escolex. São raros os casos de penetração na camada muscular, induzindo perda da arquitetura intestinal e aumento da resposta inflamatória (Dezfuli et al., 2016)

Campos et al. (2009) analisou o intestino de *Pseudoplatystoma fasciatum* parasitados por *Choanoscolex abscisus*, *Spatulifer rugosa*, *Nomimoscolex sudobim*, *Harriscolex kaparari*, *Peltidocotyle rugosa*, *Megathylacus travassosi* e uma espécie de cestoda não identificada, associados a nematoides *Cucullanus* (*Cucullanus*) *pseudoplatystomae* e *Cucullanus* (*Cucullanus*) *pinnai pinnai*. As espécies de cestoides proteocefalídeos utilizam ventosas para sua fixação na parede intestinal, com aspiração do epitélio, e algumas espécies conseguem penetrar através da parede intestinal, sendo maiores os danos causados. Os autores sugerem que os danos estão relacionados com a severa descamação da mucosa observada nas amostras e consideram como intenso o parasitismo. Porém, em *P. corruscans*, infectado por *Nomimoscolex pertierrae*, esse se fixou no epitélio intestinal do hospedeiro, danificando o tecido através de perfurações, provocando hemorragia, infiltração linfocitária, chegando até a necrose tecidual (Ribeiro e Takemoto, 2014).

Em *Salmo trutta* (truta-marron) com infecção mista por cestoides (*Cyathocephalus trunceatus*) e acantocéfalos (*Echinorhynchus trutae*), observou-se descamação completa da mucosa epitelial do intestino. O lúmen intestinal foi preenchido com uma espessa massa de tecido necrótico de enterócitos descamados, muco e linfócitos. Os autores relataram que a carga elevada de helmintos intestinais desencadeou quadro de desnutrição no hospederio, levando eventualmente ao emagrecimento excessivo e mortalidade dos peixes (Mladineo et al., 2009). Outros estudos e danos teciduais provocados por cestoides são apresentados na Figura 5 e Tabela 2.

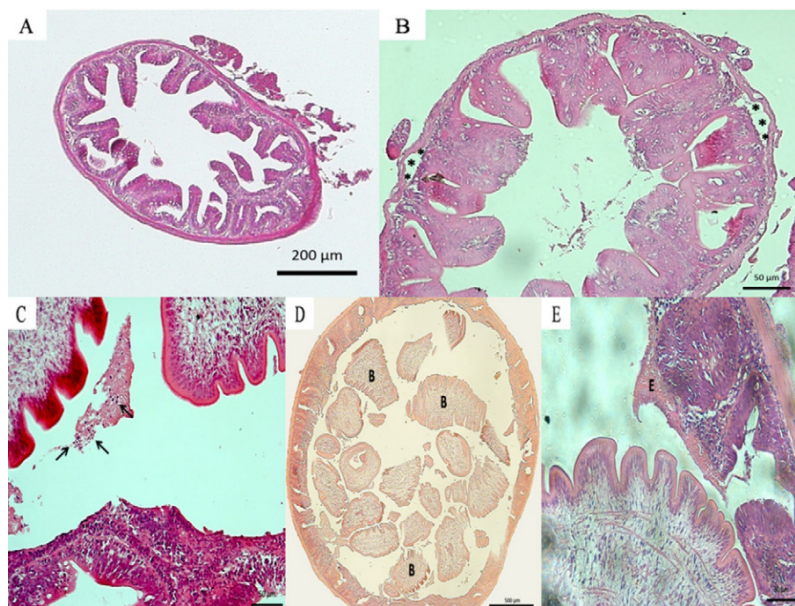



Figura 5. Alterações histopatológicas do intestino de *Cyprinus carpio*. A. Orgão sadio de peixe controle. B. Necrose da submucosa intestinal (asteriscos) em peixe parasitado. C. Infiltrado inflamatório linfocitário (seta). D. Obstrução intestinal causada por *Bothriocephalus acheilognathi* (B). E. Iinfiltrado inflamatório eosinofílico (E). Fonte: Santos et al. (2017).

### *5.2.3 Nematoda*

Em *Brycon cephalus* (matrinxã) cultivados no Peru, com infecção intestinal causada por *Procamallanus* (*Spirocamallanus*) *inopinatus*, foram descritas alterações histopatológicas como descamação, abrasão, compressão, hipertrofia e perda de vilosidades intestinais, além de necrose na camada muscular, submucosa e mucosa (Rivadeneyra et al., 2020).

Em *Arapaima gigas* (pirarucu), a infecção por *Goezia spinulosa* provocou úlceras no estômago, nos sítios de inserção dos parasitos, com áreas de espessamento da mucosa. Havia necrose nas glândulas gástricas dos peixes e um acentuado e difuso infiltrado inflamatório composto predominantemente por eosinófilos, além de linfócitos e raros macrófagos na mucosa, submucosa e camada muscular (Menezes et al., 2011). Porém, a infecção por *P.* (*S.*) *inopinatus* em *A. gigas* casou áreas de necroses focais, descamações, infiltrado inflamatório, hemorragia e citolises, além da formação de cápsulas (Gaines et al., 2012).

No intestino, estômago e cecos pilóricos de *A. gigas infectados com l*arvas do terceiro estágio ($L_3$) de *Hysterothylacium* sp., ocorreu ascite, lesões e petéquias na mucosa intestinal, com obstrução completa do intestino (Andrade-Porto et al., 2015). Em outro estudo com larvas de *H. deardorffoverstreetorum* em *Priacanthus arenatus* (olho-de-cão) foram encontrados nódulos nos locais onde estavam os parasitos, além de infiltrado inflamatório granulomatoso, constituído por macrófagos e linfócitos, bem como uma porção central de material amorfo acelular. Os autores relatam que a presença de túneis no material amorfo acelular dos nódulos sugere que as larvas se localizam inicialmente no centro do granuloma e depois migram para a sua superfície (Kuraiem et al., 2017).

Larvas de *Contracaecum* sp. e de *Eustrongylides* sp. foram encontradas nos peixes *Serrasalmus spilopleura*, *Hoplias malabaricus*, *Cichla monoculus* e *Serrasalmus rhombeus*, enquanto a espécie *P. nattereri* foi parasitada somente por *Contracaecum* sp., registrando assim a presença de larvas de nematoides com potencial zoonótico em diferentes espécies de peixes do baixo Rio Jari, Norte do Brasil (Oliveira et al., 2019). Em *Gymnotus* spp. (tuvira) parasitados por *Brevimulticaecum* sp., *Eustrongylides* sp., *Contracaecum* (tipo I, II e III) e larvas de Anisakidae gen. sp, os efeitos histopatológicos consistiram de alterações do parênquima hepático, com hepatócitos degenerados devido à alta infecção parasitária (Ventura et al., 2016). Com relação às larvas de *Anisakis simplex* encistadas sob a serosa visceral peritoneal do baço e fígado em *Platichthys flexus* (peixe-gato), ocorreu a presença de células rodlet e agregados de macrófagos no fígado e baço (Dezfuli et al., 2007). Outros estudos e danos teciduais provocados por nematoides são apresentados na Figura 6 e Tabela 2.

A B

1 cm 1 cm

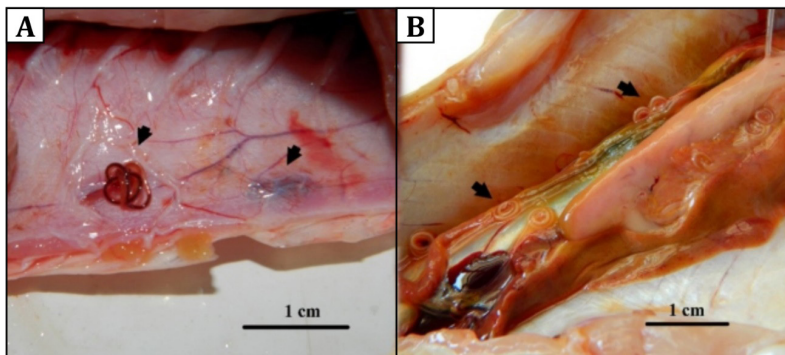



Figura 6. Alterações macroscópicas em peixes carnívoros infectados por larvas de nematoides. A. *Hoplias malabaricus* com larvas de *Eustrongylides* sp. na musculatura. B. *Hoplerythrinus unitaeniatus* com larvas de *Contracaecum* sp. aderido ao mesentério. Fonte: Oliveira et al. (2019).

### 5.2.4 Acantocephala

Em *C. macropomum* cultivado no Brasil foi registrado *Neoechinorhynchus buttnerae*, que além de provocar danos morfológicos graves na mucosa intestinal (Matos et al., 2017; Aguiar et al., 2018), também provocou mortalidade de alevinos (Malta et al., 2001), bem como redução no crescimento e perda de peso dos peixes na fase de engorda (Silva-Gomes et al., 2017). Esse parasito tem sido bastante estudado, sendo descrito o seu ciclo de vida com a participação do ostracoda *Cypridopsis vidua* como hospedeiro intermediário, abrigando por 29 dias o desenvolvimento do parasito até o estágio de cistacanto, considerado infectante para *C. macropomum* (Lourenço et al., 2018). A histopatologia provocada por *N. buttnerae* inclui o enrijecimento e espessamento da parede do intestino, devido à ação mecânica da probóscide desse parasito, que estimula um processo inflamatório intenso predominantemente formado por macrófagos, células de Langerhans e linfócitos (Jerônimo et al., 2017; Matos et al., 2017). Respostas celulares mais severas são observadas em locais onde há penetração da probóscide, como infiltração celular leucocitária, metaplasia do tecido muscular e necrose atingindo todas as camadas do intestino (Matos et al., 2017).

Com relação à distribuição de *N. buttnerae* no intestino de *C. macropomum* foi observada evidente preferência pelas regiões intermediárias do tubo intestinal, onde foram registradas as maiores densidades de parasitos. Os danos aos hospedeiros classificaram-se como severo e irreversível (Aguiar et al., 2018). Para *P. brachypomus* infectada por *Neoechinorhynchus* sp., relatou-se nas camadas mucosas das diferentes regiões do tubo digestivo intensa produção de substâncias mucosas neutras e ácidas no epitélio mucoso pseudoestratificado do esôfago; reações positivas ao ácido periódico de Schiff (PAS) no ápice das células epiteliais colunares do estômago, além de aumento da intensidade das reações histoquímicas na região do intestino posterior (De Oliveira et al., 2019).

Em *Catostomus commersoni* (white sucker) parasitados por *Pomphorhynchus bulbocolli*, a avaliação histopatológica revelou penetração total na parede do intestino e danos na mucosa, submucosa, extrato compacto e camadas musculares circulares e longitudinais, além de proliferação de células nos locais dos danos. Os autores acrescentam

a ocorrência de bolsas de degeneração hialina na muscular e sugerem que esta resposta pode estar relacionada à secreção de proteínas semelhantes à tripsina do presoma do acantocéfalo, semelhante ao que ocorre com *Pomphorhynchus laevis* (Heller et al., 2016). Outros estudos e danos teciduais provocados por acantocéfalos são apresentados na Figura 7 e Tabela 2.

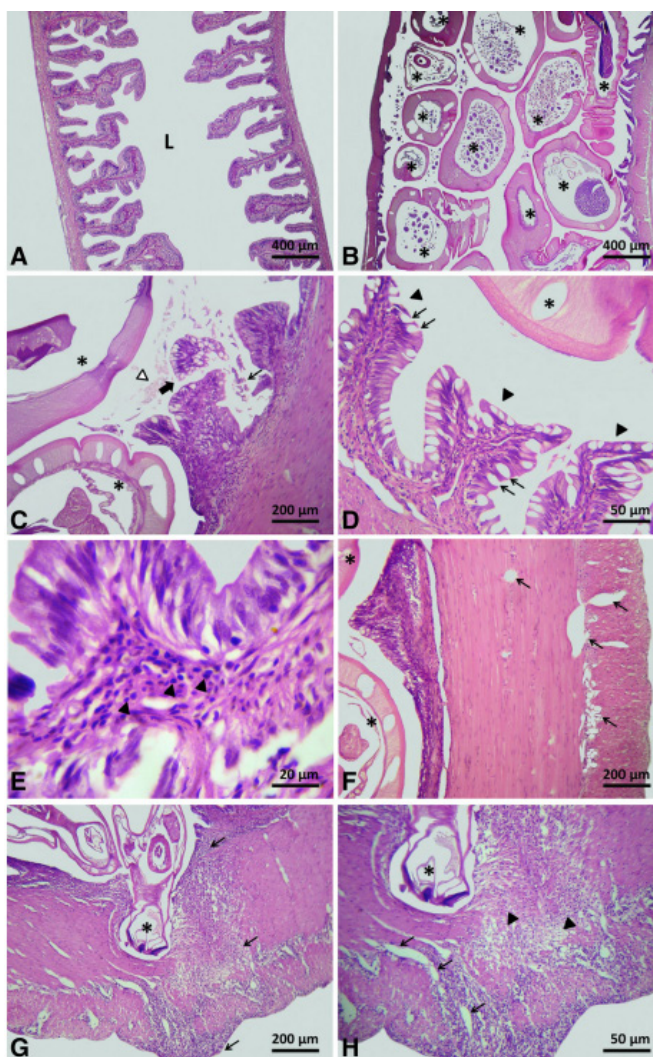



Figura 7. Alterações histopatológicas do intestino de *Colossoma macropomum* infectado por *Neoechinorhynchus buttnerae*. A. Intestino não infectado, mostrando vilosidades e lúmen intactos. B. Obstrução do lúmem intestinal com parasitos (asteriscos). C. Abrasão epitelial (seta fina), descamação da vilosidade (seta grossa) e muco no lúmen (ponta de seta branca), próximos ao metassoma (asteriscos) do parasito. D. Compressão (pontas de seta) e hipertrofia de células globet (setas finas), próximas do metasoma (asterisco) do parasito. E. Infiltração de leucócitos na submucosa (pontas de seta). F. Engrossamento e edema da camada muscular de vasos sanguíneos (setas e flechas). G. Desaparecimento das vilosidades no local de penetração de presoma (asterisco) e metaplasia de tecido muscular, com intensa inflamação (setas finas). H. Edema de vasos sanguíneos (setas) e focos de necrose (pontas de seta). Asterisco indica a probóscide do parasito. Fonte: Matos et al. (2017).

## 6 | INFECÇÕES POR CRUSTÁCEOS

Crustáceos são importantes parasitos comuns em peixes silvestres e cultivados, que podem causar perdas econômicas para a piscicultura e a pesca. Os três principais grupos de crustáceos que parasitam peixes de água doce pertencem às subclasses Branchiura e Copepoda, e à Ordem Isopoda (Tavares-Dias et al., 2015). Os sítios de infecção mais comuns são o tegumento, nadadeiras, boca, brânquias e opérculos, e menos frequentemente o globo ocular. Peixes parasitados têm diferentes respostas e desafios dependendo da espécie do crustáceo parasito, seu hábito de alimentação e sua localização no hospedeiro. Algumas espécies provocam inflamação local, lesões teciduais, perda de sangue e, quando em elevada infestação, podem levar o hospedeiro a morte (Ruane et al., 2000; Jones e Grutter, 2005; Horton e Okamura, 2003; Tavares-Dias et al., 2007).

### 6.1 Parâmetros Sanguíneos

Muitas vezes, as infestações podem causar anemia e estresse nos peixes infestados (Tabela 1). Porém, em *C. carpio* parasitados por *Argulus* sp. não houve alterações na glicemia, proteínas totais e cálcio plasmáticos (Ranzani-Paiva et al., 1989), assim como em híbridos tambacu infestados por *Lernaea cyprinacea,* onde o hematócrito, hemoglobina, linfócitos, neutrófilos, monócitos, LG-PAS e eosinófilos não foram influenciados pelo parasitismo (Tavares-Dias et al., 2008). Em *Salmo salar*, a infestação por *Lepeophtheirus salmonis* não influenciou os níveis plasmáticos de proteína total, sódio, potássio, cloreto, triiodotironina (T3) e tiroxina (T4) (Bowers et al., 2000).

Em *M. platanus* infestado por copépodes não houve alteração na concentração de hemoglobina, hematócrito, número total de eritrócitos, VCM, percentual de linfócitos, monócitos, neutrófilos e basófilos, mas aumentou o CHCM (Ranzani-Paiva et al., 1997).

### 6.2 Histopatologia

As alterações histológicas de peixes infestados por crustáceos, em sua maioria, estão relacionadas ao local de fixação do parasito, geralmente brânquias, tegumento, boca e olhos (Tabela 2). Porém, efeitos sistêmicos provocados por ectoparasitos também são registrados. Rojas et al. (2018) observaram resposta inflamatória generalizada em *Oncorhynchus mykiss* (truta-arco-íris) infestados pelo copépode *Caligus rogercresseyi*, com aumento de células inflamatórias em diferentes tecidos, como brânquias e intestino, embora a pele seja o sítio de infecção do parasito, demostrando assim, que ectoparasitos podem provocar reações sistêmicas no hospedeiro. Nos locais de fixação dos parasitos foram descritos vários graus de erosão e desorganização do epitélio até lesões da derme subjacente. Além de hiperplasia, inflamação do tecido conectivo e desarranjo das fibras de colágeno, foi registrado aumento do número de melanóforos e de células caliciformes, responsáveis pela pigmentação e produção de muco na pele, respectivamente. A resposta inflamatória branquial foi caracterizada por hiperplasia, espessamento de base e ponta das lamelas secundárias e fusão lamelar completa ou parcial. O tecido conjuntivo branquial apresentou uma quantidade maior de mastócitos, eosinófilos, monócitos, macrófagos e linfócitos no tecido conjuntivo próximo ao arco branquial, e aumento das células caliciformes no epitélio das lamelas secundárias responsáveis pela secreção de muco regional. O intestino dos peixes infectados apresentou epitélio desorganizado e abundantes mastócitos,

eosinófilos granulares e células secretoras indicando processo inflamatório intestinal.

*Rhamdia quelen* parasitados na base das nadadeiras, boca, globo ocular e opérculos por *Lernaea cyprinacea* tiveram porções do tegumento analisados (Furtado et al., 2019). Foi observado leve infiltrado de eosinófilos, aumento dos tecidos subcutâneo e conjuntivo, atrofia da fibra muscular e perda de tecido muscular, necrose do tecido conjuntivo, necrose liquefativa, fibrose, hemorragia, congestão, hipertrofia e hiperplasia de células caliciformes, aumento e erosão de tecido epitelial, redução da espessura do epitélio e perda de células caliciformes. Em alterações moderadas foram encontrados infiltrados mono e polimorfonucleares de leucócitos, extravasamento de sangue dos vasos, tecido conectivo desorganizado, necrose epitelial, hemorragia, hipertrofia moderada e hiperplasia grave das células claviformes (células de alarme).

*Sciades herzbergii* (bagre neotropical) naturalmente parasitados pelo copépode *Lepeophtheirus* sp. apresentaram hiperplasia e hipertrofia de células da epiderme, modificando a arquitetura normal do tecido (Fogel et al., 2017). *Ergasilus sarsi*, parasito de brânquias de *Lamprichthys tanganicanus* (Tanganyika killifish), provocou hiperplasia epitelial e fusão de lamelas branquiais, hemorragia local e erosão do tecido. Detectou-se que no intestino e na cavidade bucal do parasito estavam presentes tecidos e células do hospedeiro (Kilian e Avenant-Oldewage, 2013).

Em *Labeo rohita* (peixe jumbo) parasitado por *Argulus* spp., houve hipertrofia, telangiectasia, aneurisma, degeneração e fusão das lamelas branquais, acompanhadas de manchas hemorrágicas (Palaq e Noorani, 2016). Em *C. macropomum* cultivados no estado do Amapá, foi relatada prevalência de 30% de *Braga patagonica* na base da nadadeira dorsal, onde um único parasito causou destruição das escamas e intensa inflamação local no hospedeiro (Tavares-Dias et al., 2014). Outros estudos e danos teciduais provocados por crustáceos são apresentados na Figura 8 e Tabela 2.

Figura 8. Alterações macroscópicas em *Colossoma macropomum* infestado por *Braga patagonica*. A. *Braga patagonica* na base da nadadeira dorsal de tambaqui. B. Processo inflamatório causado por *B. patagonica* no peixe hospedeiro. Fonte: Tavares-Dias et al. (2014).

| Parasitos | Peixes hospedeiros | Alterações sanguíneas | Referências |
|---|---|---|---|
| **Protozoa** | | | |
| *Trichodinidae gen. sp.* | *Mugil platanus* | Redução do hematócrito e aumento da CHCM | Ranzani-Paiva et al. (1997) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Cyprinus carpio | Aumento dos níveis séricos de potássio e redução nos níveis de sódio e magnésio. | Hines e Spira (1974) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Cyprinus carpio | Aumento dos níveis séricos de glicose, proteína total, albuminas e globulinas e leucócitos totais. | Kurovskaya e Osadchaya (1993) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Cyprinus carpio | Redução do número total de eritrócitos e leucócitos e percentual de linfócitos, e aumento do VCM, CHCM, número de trombóticos totais, percentual de neutrófilos e monócitos. | Witeska et al. (2010) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Rhamdia quelen | Redução de neutrófilos e monócitos, e aumento de linfócitos e eosinófilos. | Vargas et al. (2008) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Oreochromis niloticus | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito, hemoglobina e CHCM, e aumento do VCM, percentual de linfócitos, monócitos e neutrófilos. | Tavares-Dias et al. (2002) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Oncorhynchus mykiss | Redução do número total de eritrócitos e linfócitos, hematócrito, hemoglobina, glicose, e aumento dos níveis de proteína total, ALT e AST, percentual de neutrófilos e monócitos. | Azimzadeh (2016) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Steindachneridion parahybae | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito e hemoglobina. | Corrêa et al. (2019) |
| **Microparasitos** | | | |
| *Henneguya branchialis* | Clarias gariepinus | Redução do total número de eritrócitos, hemoglobina, hematócrito e CHCM, e aumento do VCM e número de leucócitos totais. | Sabri et al. (2009) |
| *Cryptobia tincae* | Rutilus rutilus | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito, número de leucócitos totais, percentual de neutrófilos e eosinófilos, e aumento de linfócitos. | Akmirza e Tepecík (2007) |
| *Cryptobia salmositica* | Oncorhynchus mykiss | Redução do número total de eritrócitos e níveis plasmáticos de hormônios tireoideanos T3 e T4, proteína total e glicose. | Laidley et al. (1988) |
| *Myxobolus cerebralis* | Oncorhynchus mykiss | Redução do número total de leucócitos e linfócitos, e aumento do número de neutrófilos. | Densmore et al. (2001) |
| *Myxobolus artus* | Cyprinus carpio | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito e hemoglobina, e aumento do percentual de eritrócitos imaturos. | Yokoyama et al. (1996) |
| *Cyrilla gomesi* | Synbrachus marmoratus | Redução do percentual de eosinófilos. | Nakamoto et al. (1991) |
| *Trypanosoma kashmirensis* | Schizothorax plagiostomus | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito e hemoglobina, e aumento do VCM e número total de leucócitos. | Maqbool e Ahmed (2016) |
| *Trypanosoma carassii* | Carassius auratus | Redução do número total de eritrócitos, hemoglobina e hematócrito. | McAllister et al. (2019) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Trypanosoma sp.* | *Abramis brama* | Redução da hemoglobina e percentual de linfócitos, e aumento do percentual de leucócitos imaturos, eosinófilos e trombóticos. | Lapirova e Zabotkina (2018) |
| *Trypanosoma spp.* | *Pterygoplichthys pardalis* | Aumento dos níveis de hemoglobina. | Sousa et al. (2020) |
| *Trypanosoma batrachi* | Clarias batrachus | Redução do número total de eritrócitos. | Gupta e Gupta (2012) |
| *Trypanosoma aligaricus* | Channa punctatus | Redução do número total de eritrócitos. | Gupta e Gupta (2012) |
| *Trypanosoma attii* | Wallago attu | Redução do número total de eritrócitos. | Gupta e Gupta (2012) |
| **Monogenea** | | | |
| *Anacanthorus penilabiatus* | Piaractus mesopotamicus | Redução do percentual de trombóticos e aumento no percentual de monócitos. | Tavares-Dias et al. (2008) |
| *Anacanthorus penilabiatus* | Piaractus mesopotamicus | Redução do número de total de eritrócitos e de basófilos, hematócrito e CHCM. | Jerônimo et al. (2014) |
| *Anacanthorus spathulatus* | Colossoma macropomum | Aumento dos níveis plasmáticos de glicose. | Soberon et al. (2014) |
| *Dactologyridae gen. sp.* | *Prochilodus lineatus* | Redução da concentração de hemoglobina. | Ranzani-Paiva et al. (2000) |
| *Dactylogyridae gen. sp.* | *Lutjanus guttatus* | Aumento dos níveis séricos de glicose, número total de leucócitos e percentual de linfócitos, monócitos e eosinófilos. | Del Rio-Zaragoza et al. (2010) |
| *Heterobothrium okamotoi* | Takifugu rubripes | Redução do número total de eritrócitos e leucócitos, percentual de linfócitos e trombócitos. | Guitang (1998) |
| *Bicotylophora trachinoti* | Trachinotus marginatus | Redução da concentração de hemoglobina e aumento dos níveis séricos de glicose e número total de leucócitos. | Chaves et al. (2006) |
| *Monogenea gen. sp.* | *Cyprinus carpio* | Redução do número total de eritrócitos, hemoglobina, hematócrito, níveis de glicose e aumento do número de leucócitos totais, monócitos, neutrófilos e eosinófilos e ALT e AST. | Ali e Ansari (2012) |
| *Urocleidoides eremitus, Anacanthorus sp. e Dactylogyridae gen. sp.* | *Hoplias malabaricus* | Aumento do número total de eritrócitos e trombóticos, hematócrito e volume corpuscular médio e redução da hemoglobina e CHCM. | Corrêa et al. (2013) |
| *Neobenedenia girellae* | Seriola dumerili | Redução do hematócrito, níveis séricos de albumina, fosfatase alcalina e proteína total, e aumento dos níveis séricos de sódio, potássio e cálcio. | Hirazawa et al. (2016) |
| *Gyrodactylus salaris* | Salmo salar | Redução do hematócrito, níveis plasmáticos de potássio, cloreto e aumento dos níveis de glicose. | Pettersen et al. (2013) |
| *Gyrodactylus spp. e Dactylogyrus spp.* | Ctenopharyngodon idella | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito, hemoglobina, ALT, AST, creatinina e aumento do número de leucócitos total. | Rastiannasab et al. (2016a,b) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Digenea** | | | |
| *Sanguinicola klamathensis* | Salmo clarki | Redução dos níveis de hemoglobina e hematócrito. | Evans (1974) |
| *Sanguinicola sp.* | Rutilus arcasi | Redução dos níveis de hemoglobina e hematócrito. | Gomez-Bautista e Simon-Martin (1987) |
| *Diplostomulon sp.* | Heteropneustes fossilis | Redução dos níveis de hemoglobina, hematócrito, número total de eritrócitos, CHCM e aumento do número total de leucócitos. | Murad e Mustafa (1988) |
| *Clinostomum complanatum* | Trichogaster fasciatus | Redução do número total de eritrócitos e trombócitos, hematócrito, hemoglobina e VCM. | Khan et al. (2017) |
| *Myosaccium ecaude* | Sardinops sagax | Redução no número total de leucócitos e níveis séricos de cálcio. | Del Rio-Zaragoza et al. (2018) |
| **Cestoda** | | | |
| *Bothriocephalus acheilognathi* | Cyprinus carpio | Redução dos níveis de hemoglobina, hematócrito e número total de eritrócitos e linfócitos, VCM e CHCM, e aumento do número de leucócitos totais e eosinófilos. | Sopinska (1985) |
| *Diphyllobothrium dendriticun* | Salmo trutta | Redução do número total de trombóticos e aumento do número de linfócito e neutrófilos. | Rahkonen e Pasternack (1998) |
| *Diphyllobothrium dendriticum* | Salvelinus alpinus | Redução do hematócrito e do número de eritrócitos e leucócitos. | Blanar et al. (2005) |
| *Ligula interrupta* | Carassius auratus | Redução do total número de leucócitos, monócitos e neutrófilos. | Mazur et al. (2020) |
| **Nematoda** | | | |
| *Anguillicola crassus* | Anguilla anguilla | Redução nos níveis de proteína total, hematócrito e percentual de granulócitos e aumento do percentual de linfócitos. | Boon et al. (1990) |
| *Anguillicola crassus* | Anguilla anguilla | Redução dos níveis de hemoglobina, CHCM e número de linfócitos, e aumento do VCM, proteínas séricas, número de granulócitos e trombóticos. | Höglund et al. (1992) |
| *Eustrongylides sp.* | Channa puntatus | Redução do número total de eritrócitos, hemoglobina, hematócrito, CHCM e níveis de glicose, e aumento do número de leucócitos total, VCM, níveis séricos de proteína total, albumina, ALT, AST, fosfatase alcalina e colesterol total. | Kundu et al. (2016) |
| **Acantocephala** | | | |
| *Neoechinorhynchus curemai* | Prochilodus lineatus | Aumento do VCM e número de monócitos. | Belo et al. (2013) |
| *Acanthocephala gen. sp.* | Labeo rohita | Redução no número total de eritrócitos, hemoglobina e hematócrito, e aumento do VCM, número de leucócitos total. | Nagaraju e Rajashekhar (2018) |
| *Acanthogyrus sp.* | Oreochromis niloticus | Decréscimo no volume do hematócrito e na contagem de hemácias com o aumento da intensidade da infecção. Houve aumento na contagem de leucócitos relacionado ao aumento do nível de infecção do parasito. | Paller et al. (2016) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Neoechinorhynchus curemai* | Prochilodus lineatus | Baixa porcentagem de linfócitos e alta de neutrófilos e monócitos. | Ranzani-Paiva et al. (2000) |
| *Colossoma macropomum* | *Neoechinorhynchus buttnerae* | Correlação negativa significativa entre abundância de acantocéfalos, hematócrito, hemoglobina, trombócitos e glicose. | Rocha et al. (2018) |
| **Crustacea** | | | |
| *Alitropus typus* | Channa striatus | Redução do número total de eritrócitos e leucócitos, hematócrito e hemoglobina, e aumento do VCM, CHCM, percentual de monócitos e neutrófilos. | Nair e Nair (1983) |
| *Argulus coregoni* | Oncorhynchus masou | Aumento dos níveis de glicose, e redução do número total de eritrócitos e leucócitos, hematócrito, hemoglobina, proteína total, colesterol e cálcio. | Shimura et al. (1983) |
| *Argulus sp.* | *Piaractus mesopotamicus* | Trombocitopenia, monocitose e aumento de leucócito granular PAS-positivo. | Tavares-Dias et al. (1999) |
| *Dolops carvalhoi* | *C. macropomum* x *P. mesopotamicus* | Redução do hematócrito e níveis séricos de magnésio e aumento da CHCM e níveis séricos de glicose, proteína total, sódio e cloreto. | Tavares-Dias et al. (2007) |
| *Dolops carvalhoi* | Piaractus mesopotamicus | Aumento da hemoglobina, hematócrito, níveis de glicose e cortisol, número total de eritrócitos e neutrófilos, e redução dos níveis de potássio e do número de linfócitos. | Biller et al. (2020) |
| *Lernaea cyprinacea* | Schizodon intermedius | Aumento do percentual de linfócitos, monócitos, neutrófilos e leucócitos imaturos. | Silva-Souza et al. (2000) |
| *Lernaea cyprinacea* | Rhamdia quelen | Redução do número total de eritrócitos, trombócitos, neutófilos e linfócitos, e aumento do número de leucócitos totais, leucócitos LG-PAS e leucócitos imaturos. | Furtado et al. (2019) |
| *Lernaea cyprinacea* | Catla catla | Redução do número total de eritrócitos, hemoglobina e hematócrito e aumento do número total de leucócitos, percentual de linfócitos, monócitos, neutrófilos, eosinófilos e basófilos. | Tufail et al. (2017) |
| *Lernaea cyprinacea* | Astyanax altiparanae | Redução do número total de eritrócitos e trombóticos, hemoglobina. | Corrêa et al. (2016) |
| *Gnasthia sp.* | Hemigymnus melapterus | Redução do hematócrito. | Jones e Grutter (2005) |
| *Lepeophtheirus salmonis* | Salmo salar | Aumento dos níveis plasmáticos de cortisol e glicose e hematócrito. | Bowers et al. (2000) |
| *Lepeophtheirus salmonis* | Salmo salar | Aumento dos níveis plasmáticos de cloreto e redução dos níveis de albumina, proteína total e hematócrito. | Grimnes e Jakobsen (1996) |
| *Lepeophtheirus salmonis* | Oncorhynchus mykiss | Aumento dos níveis plasmáticos de cortisol e glicose, com redução do número total de eritrócitos, linfócitos e níveis do sistema complemento. | Ruane et al. (2000) |
| *Ceratothoa oestroides* | Dicentrarchus labrax | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito e hemoglobina. | Horton e Okamura (2003) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Ceratothoa oestroides* | Boops boops | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito e hemoglobina, CHCM, níveis plasmáticos de glicose, triglicerídeos, globulinas, proteína total, AST, e aumento dos níveis plasmáticos de fosfatase alcalina. | Özdemir et al. (2016) |
| *Caligus rogercresseyi* | Eleginops maclovinus | Redução do número total de eritrócitos, hematócrito e percentual de monócitos, e aumento da hemoglobina, VCM, CHCM, número de leucócitos total e percentual de linfócitos. | Peña-Rehbein et al. (2013) |

**Tabela 1**. Alterações sanguíneas em diferentes espécies de peixes infectadas por diversos grupos de parasitos.

AST: aspartato aminotransferase; ALT: alanina aminotransferase; CHCM: concentração de hemoglobina corpuscular média; LG-PAS: leucócito granular com coloração ácido periódico + reativo de Schiff positiva; VCM: volume corpuscular médio.

| **Parasitos** | **Peixe hospedeiro** | **Alterações** | **Referências** |
|---|---|---|---|
| **Protozoa** | | | |
| *Amyloodinium ocellatum* | Rachycentron canadum | Hiperplasia do epitélio respiratório, fusão lamelar, descolamento do epitélio, dilatação do seio venoso, formação de aneurisma, ruptura do epitélio lamelar, hemorragia, necrose, reação inflamatória linfocítica. | Guerra-Santos et al. (2012) |
| *Trichodina sp.* | Piaractus mesopotamicus | Hiperplasia epitelial e mucosa das brânquias, excesso de muco e necrose. | Schalch et al. (2006) |
| *Trichodina spp.* | Oreochromis niloticus | Hiperplasia epitelial das lamelas secundárias, fusão lamelar, infiltrado inflamatório granular eosinofílico. | Steckert et al. (2018) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Oreochromis niloticus | Infiltrado inflamatório mononuclear. | Steckert et al. (2018) |
| *Ichthyophthirius multifiliis* | Pseudoplatystoma reticulatum x P. corruscans | Hiperplasia do epitélio branquial e observação dos trofozoítos sob o epitélio do rastro e epitélio branquial | Ishikawa et al. (2011) |
| *Piscinoodinium pillulare* | Leporinus macrocephalus | Necrose das células branquiais comprometidas e fusão lamelar. | Schalch et al. (2006) |
| *Piscinoodinium pillulare* | Colossoma macropomum | Atrofia branquial, fusão e necrose lamelar. | Vargas et al. (2015) |
| *Piscinoodinium pillulare* | *P. mesopotamicus* x *C. macropomum* | Aumento da produção de muco, hemorragias no tegumento, degeneração e necrose das células, inflamação, além de hiperplasia e fusão das lamelas branquiais secundárias. | Martins et al. (2001a) |
| *Piscinoodinium pillulare* | Piaractus mesopotamicus | Hipertrofia, inflamação e fusão de lamelas. | Sant´Ana et al. (2012) |
| Microparasitos | | | |
| *Myxobolus colossomatis* | Piaractus mesopotamicus | Cistos aderidos à cápsula hepática revestida por uma delgada membrana eosinofílica. | Campos et al. (2008) |
| *Henneguya leporinicola* | Leporinus macrocephalus | Hiperplasia epitelial branquial com preenchimento dos espaços interlamelares, congestão e teleangiectasia sinusoidal. | Schalch et al. (2006) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Myxobolus sp.* | Alburnus tarichi | Plasmódios de diferentes tamanhos foram encontrados no lúmen dos vasos sanguíneos, localizados nas lamelas secundárias dos arcos branquiais, estando os plasmódios maiores nas lamelas primárias. Houve ainda registro de fusão lamelar. | Oğuz e Oğuz (2020) |
| *Henneguya lacustres n. sp.* | Astyanax lacustres | Infecção do tipo interlamelar, com presença de plasmódios entre dois filamentos secundários da lamela branquial. O plasmódio se desenvolveu na porção basal do filamento. | Vieira et al. (2020) |
| *Thelohanellus kitauei* | *Cyprinus* carpio | Os cistos do parasito estavam aderidos à parede intestinal, a cápsula se expandiu da camada basal para o intestino e as vilosidades intestinais foram comprimidas, com edema da camada serosa do intestino. Havia um grande número de trofozoítos e parasitas na pequena cápsula. Cistos maiores foram encontrados nas vilosidades intestinais, levando à ruptura de uma parte marginal do intestino. | Liu et al. (2019) |
| *Myxobolus ichkeulensis Thelohanellus dipaki n. sp.* | Carassius auratus | Erosão e dissolução do tecido cartilaginoso com deformidades e necrose degenerativa da nadadeira. Cistos em crescimento promoveram distorção no local de infestação e também nas camadas adjacentes. O agrupamento de parasitos ocorreu nas nadadeiras dos peixes e neste local de fixação foi registrada grave hiperplasia com deposição focal de melanócitos. | Saha e Bandyopadhyay (2017) |
| Monogenea | | | |
| *Anacanthorus penilabiatus e Mymarothecium viatorum* | Piaractus mesopotamicus | Hiperplasia das lamelas secundárias, fusão das lamelas e hipersecreção de muco. | Müller et al. (2016) |
| *Anacanthorus penilabiatus* | Piaractus mesopotamicus | Severa hiperplasia, edema sub-epitelial, fusão das lamelas secundárias, necroses focal e multifocal. | Jerônimo et al. (2014) |
| *Cichlidogyrus halli e Cichlidogyrus sclerosus* | Oreochromis niloticus | Infiltrado inflamatório granular eosinofílico. | Steckert et al. (2018) |
| *Centrocestus formosanus* | Oreochromis niloticus | Hiperplasia e fusão das lamelas branquiais secundárias. | Younis et al. (2020) |
| *Neoheterobothrium hirame* | *Paralichthys olivaceus* | Redução do número de eritrócitos nos vasos sanguíneos do filamento branquial e lamelas, redução da área do baço e atrofia de hepatócitos, causando anemia grave nos peixes. | Lee et al. (2020) |
| *Sparicotyle chrysophrii* | Sparus aurata | Encurtamento lamelar, fusão de lamelas secundárias e células de cloreto abundantes. | Sitjà-Bobadilla e Alvarez-Pellitero (2009) |
| *Macrogyrodactylus clarii* | Clarias gariepinus | Danos no epitélio de revestimento, necrose das células epiteliais, fusão das lamelas branquiais, ruptura dos capilares sanguíneos, infiltração de eritrócitos e degeneração, fibrose do epitélio interlamelar, além de hiperplasia tecidual no local de fixação. | Arafa et al. (2009) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Neobenedenia sp.* | Lates calcarifer | Inflamação na derme e perda de epiderme na maioria das regiões infectadas. O haptor causou compressão da epiderme e pode ter contribuído para o descolamento da base da camada. Peixes infectados tinham menor número de células mucosas e menor espessura da epiderme. O maior dano ocorreu no local de fixação do haptor. | Trujillo-Gonzalez et al. (2014) |
| *Acleotrema maculatus sp. nov.* | *Plectropomus maculatus* | Danos e degeneração de células epiteliais. No local de fixação do parasito houve repartição da camada mais externa de revestimento de células epiteliais. Como dano principal destaca-se hiperplasia do filamento branquial e fusão das lamelas branquiais secundárias. | Morsy et al. (2014) |
| **Digenea** | | | |
| *Posthodiplostomum minimum* | Bagrus bajad | Necrose hepática periportal e congestão dos sinusóides hepáticos. Depleção de elementos linfóides e melanomacrófagos no baço. Nefrite intersticial associada à degeneração e necrose dos túbulos renais, infiltração de células inflamatórias, incluindo células granulares eosinofílicas, linfócitos e macrófagos; cistos de diversos tamanhos na musculatura intestinal, com tecido normal ou associado a necrose e infiltrado de células inflamatórias como eosinófilos, células granulares, linfócitos e macrófagos. | Hamouda et al. (2019) |
| *Euclinostomum heterostomum* | Channa striatus e Channa marulius | Degeneração severa do tecido hematopoiético renal, redução dos glomérulos, necrose e hipertrofia dos túbulos renais e desenvolvimento de vários centros de melanomacrófagos. | Kaur et al. (2016) |
| *Masenia nkomatiensis* | Clarias gariepinus | Degeneração dos enterócitos e encurtamento das vilosidades intestinais provocadas pela penetração das ventosas oral e ventral do parasito. Aumento de mastócitos, neutrófilos e células mucosas e menos frequentemente de eosinófilos e linfócitos ao redor do corpo do parasito no lúmen intestinal. Infiltrado focal inflamatório com presença de catarro, leucócitos, muco e restos celulares ao redor dos espinhos orais do parasito. Células granulocíticas concentradas, infiltração de eritrócitos, congestão dos vasos sanguíneos e formação de vacúolos tradicionais na camada submucosa intestinal. | Dumbo e Avenant-Oldewage (2019) |
| *Salvelinus alpinus* | *Diplostomum* sp. | Parasitos abrigados em uma vesícula cheia de líquido e células do hospedeiro no interior dos olhos. Alteração da estrutura da retina com cones e bastonetes danificados na parte externa e epitélio reduzido a uma única camada de células pigmentares. | Padrós et al. (2018) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Katsuwonus pelamis* | Didymocylindrus simplex | Leve fibrose do tecido conjuntivo ao redor do parasito, formada por algumas camadas de tecido colágeno e fibroblastos e um leve infiltrado inflamatório com linfócitos e células granulocíticas, como monócitos e neutrófilos. | Justo et al. (2013) |
| *Thunnus thynnus thynnus* | *Coeliodidymocystis, abdominalis* | Cistos com sinais de degeneração. Os cistos mais jovens e menores foram circundados por tecido conjuntivo rosa claro, com fibrócitos alongados, abundantes. Acúmulos de centros de melanomacrófagos em cistos em desenvolvimento. | Mladineo (2006) |
| *Thunnus thynnus thynnus* | Didymocystis wedli | Camada de colágeno em contato com o epitélio da parede do cisto, cápsula conectiva relativamente fina, epitélio da brânquia infiltrado com células esféricas, núcleo lobado e grânulos eosinofílicos abundantes no citoplasma. Massa de detritos, com bactérias e células picnóticas e vacuoladas com acúmulo de melanina e houve perda de lamelas. | Mladineo (2006) |
| *Thunnus thynnus thynnus* | *Koellikerioides internogastricus* | Cistos inseridos profundamente na parte proximal do músculo liso do estômago. Tecido muscular com forte infiltração de células sanguíneas. Núcleos alongados e basofílicos. Envelope de colágeno fino circundando os cistos da muscular da mucosa. | Mladineo (2006) |
| *Thunnus thynnus thynnus* | *Koellikerioides intestinalis* | Cistos abaixo da mucosa, na submucosa ao longo de todo o intestino. Proliferação acentuada de tecido conectivo na submucosa e perda da camada mucosa epitelial. Infiltração de linfócitos acentuada. | Mladineo (2006) |
| *Thunnus thynnus thynnus* | *Koellikerioides apicalis* | Cistos volumosos, com fina parede epitelial envolvida por uma camada espessa e ampla de tecido conjuntivo. Infiltração de células sanguíneas e presença de células conectivas. Aglomerações dispersas de centros de melanomacrófagos também estavam presentes. Na camada mais profunda do tecido cartilaginoso, os condrócitos eram redondos com grandes núcleos esféricos. | Mladineo (2006) |
| **Cestoda** | | | |
| *Nomimoscolex pertierrae* | Pseudoplatystoma corruscans | Danos mecânicos, descamação e pontos hemorrágicos no epitélio intestinal, necrose local, danos à lâmina epitelial e às microvilosidades e infiltrações linfocitárias. | Ribeiro e Takemoto (2014) |
| *Lytocestus indicus* | Channa punctatus | Danos nas vilosidades intestinais, inflamação, fibrose associada a hiperplasia e metaplasia, necrose epitelial, vacuolização das células submucosas e dilatação dos vasos sanguíneos. | Reddy e Benarjee (2014) |
| *Bothriocephalus acheilognathi* | Cyprinus carpio | Necrose na submucosa intestinal, infiltrado inflamatório linfoeosinofílico e obstrução do lúmen. | Santos et al. (2017) |
| *Circumoncobothrium sp.* | Mastacembelus armatus | Danos na camada epitelial, vilosidades intestinais e nos fibroblastos, linfócitos e células do intestino, causando inflamação e vacuolização. | Pardeshi (2017) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Eubothrium crassum* | Oncorhynchus mykiss | Descamação epitelial, infiltração leucocitária da lâmina própria, vacuolização de células epiteliais do intestino. | Bosi et al. (2005) |
| *Proteocephalus macrocephalus* | Anguilla anguilla | Enterite catarral leve, com congestão dos vasos sanguíneos da mucosa intestinal, infiltração monocelular associada com a presença do parasita no lumen intestinal. | Abdelmonem et al. (2010) |
| **Nematoda** | | | |
| *Spirocamallanus inopinatus* | Arapaima gigas | Áreas de necrose focal, descamação do epitélio, infiltrado inflamatório, hemorragia, citólise e formação de cápsula no entorno do parasito. | Gaines et al. (2012) |
| *Goezia spinulosa* | Arapaima gigas | Úlceras nos sítios de inserção dos nematoides no estômago, necrose das glândulas gástricas e reação inflamatória severa e difusa composta por eosinófilos, linfócitos e raros macrófagos na mucosa, submucosa e camadas musculares. | Menezes et al. (2011) |
| *Procamallanus (Spirocamallanus) inopinatus* | Brycon cephalus | Descamação, abrasão, atrofia e perda total de vilosidades, necrose da mucosa, submucosa e camada muscular com perda de citoarquitetura. | Rivadeneyra et al. (2020) |
| *Procamallanus (Spirocamallanus) pintoi* | Corydoras micracanthus | Destruição total da mucosa e submucosa intestinal, reação inflamatória com acúmulos linfáticos na área afetada. | Ailán-Choke et al. (2019) |
| *Brevimulticaecum sp.* | Gymnotus inaequilabiatus | Hepatócitos com alterações degenerativas leves e acúmulo de pigmentos. Larvas circundadas por granulomas. Numerosos agregados de macrófagos nos granulomas e no parênquima. | Dezfuli et al. (2016) |
| *Contracaecum rudolphii* | Anguilla anguilla | Formação de granulomas conspícuos em torno das larvas encistadas, caracterizando inflação crônica | Dezfuli et al. (2009) |
| *Anisakis simplex* | Salmo salar | Presença de larvas encapsuladas na parede do intestino, vacuolização e necrose das fibras musculares circulares. | Murphy et al. (2010) |
| *Histerothylacium sp.* | Paralichthys isosceles | Nódulos contendo larvas nas camadas submucosa, muscular e serosa do estômago e intestino. | Felizardo et al. (2009) |
| **Acantocephala** | | | |
| *Neoechinorhynchus buttnerae* | Colossoma macropomum | Enrijecimento e espessamento da parede do intestino, devido à ação mecânica de fixação do parasito, processo inflamatório formado por macrófagos, células de Langerhans e linfócitos. | Jerônimo et al. (2017) |
| *Neoechinorhynchus buttnerae* | Colossoma macropomum | Descamação da mucosa intestinal, abrasão e compressão das vilosidades, hipertrofia e hiperplasia de células caliciformes, infiltração leucocitária na submucosa e espessamento da camada muscular. | Matos et al. (2017) |
| *Echinorhynchus jucundus* | Piaractus mesopotamicus x Piaractus brachypomus | Degeneração da camada mucosa e formação de edema inflamatório ao redor do local de fixação do parasito, descamação da mucosa intestinal, sobre a lâmina própria. | Ventura et al. (2017) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Neoechinorhynchus curemai* | Prochilodus lineatus | Descamação do epitélio intestinal com severa hiperplasia e hipertrofia das células caliciformes, forte reação inflamatória na submucosa, deslocamento de feixes, associado a edemas, bem como infiltração mononuclear e eosinofílica. | Martins et al. (2001b) |
| *Echinorhynchus jucundus* | Piaractus mesopotamicus | Reação inflamatória com células mononucleares e hemorragias no epitélio intestinal. | Ferraz de Lima et al. (1989) |
| *Neoechinorhynchus agili* | Thunnus albacares | Fibras musculares lisas ao redor da tromba com numerosos ganchos, que desorganizam as camadas musculares do hospedeiro, e como resposta estes apresentam hemorragia, necrose do tecido e oclusão das superfícies de absorção. | Sakthivel et al. (2020) |
| *Neoechinorhynchus agili* | Coryphaena hippurus | Dilatação e congestão de vasos sanguíneos no tecido conjuntivo entre os feixes de músculos. A tromba do parasito atravessa toda a largura da parede do intestino, atingindo a cavidade peritoneal, e é envolvido por uma capa de tecido conjuntivo fibroso do hospedeiro. | Sakthivel et al. (2020) |
| *Acanthocephalus lucii* | Perca fluviatilis | Destruição do epitélio da mucosa que reveste as vilosidades adjacentes ao local de fixação do parasito, além de necrose e degeneração. | Dezfuli et al. (2013) |
| *Dentritruncus truttae* | Salmo trutta | Área de tecido inflamatório ao redor do corpo do parasito. Lâmina própria espessa, camada muscular rompida pela penetração da probóscide, além da presença de numerosas células “rodlet”. | Dezfuli et al. (2008) |
| *Dentritruncus truttae* | Coregonus lavaretus | Hiperplasia e hipertrofia das células mucosas intestinais. | Dezfuli et al. (2009) |
| *Longicollum pagrosomi* | Pagrus major | Perfuração do tecido conjuntivo frouxo, necrose parcial, colapso da camada epitelial. | Kim et al. (2011) |
| *Pomporhynchus kashmiriensis* | Schizothorax esocinus | Perfuração do intestino, nódulos fibrosos na superfície externa, compressão e ausência de vilosidades intestinais | Irshadullah e Mustafa (2012) |
| *Echinorhynchus truttae* | Salmo truta | Descamação da mucosa, ruptura da lâmina própria e estrato granuloso no ponto de fixação do parasita | Mladineo et al. (2009) |
| *Acanthogyrus sp.* | Oreochromis niloticus | Perfuração pelo parasita na camada submucosa do intestino, causando lesões e esfoliação da camada mucosa. Proliferação de linfócitos e granulócitos eosinofílicos ao redor da área infectada, além da presença de hemorragia. | Paller et al. (2016) |
| *Tenuiproboscis sp.* | Lutjanus argentimaculatus | Danos mecânicos, com destruição da arquitetura dos tecidos intestinais. | Sanil et al. (2011) |

| Crustacea | | | |
|---|---|---|---|
| *Lernaea cyprinacea* | Rhamdia quelen | No tegumento, leve infiltrado de eosinófilos, aumento dos tecidos subcutâneo e conjuntivo, atrofia da fibra muscular e perda de tecido muscular, necrose do tecido conjuntivo, necrose liquefativa, fibrose, hemorragia, congestão, hipertrofia e hiperplasia de células caliciformes, aumento e erosão de tecido epitelial, redução da espessura do epitélio e perda de células caliciformes. Alterações moderadas foram infiltrados mono e polimorfonucleares de leucócitos, extravasamento de sangue dos vasos, tecido conectivo desorganizado, necrose epitelial, hemorragia, hipertrofia moderada e hiperplasia grave das células claviformes (células de alarme). | Furtado et al. (2019) |
| *Lepeophtheirus sp.* | Sciades herzbergii | Hiperplasia e hipertrofia de células da epiderme, modificando a arquitetura normal do tecido. | Fogel et al. (2017) |
| *Acusicola sp.* | Astyanax altiparanae | Alterações proliferativas próximo ao ápice do filamento branquial, hiperplasia, fusão e edema subepitelial das lamelas secundárias, proliferação de células mucosas e infiltrado inflamatório de células granulares eosinofílicas na área de fixação do parasita. | Pádua et al. (2015) |
| *Ergasilus sarsi* | Lamprichthys tanganicanus | Hiperplasia epitelial e fusão de lamelas branquiais, hemorragia local e erosão do tecido. | Kilian e Avenant-Oldewage (2013) |
| *Argulus sp.* | Labeo rohita | Hipertrofia, telangiectasia, aneurisma, degeneração e fusão das lamelas branquiais, acompanhadas de manchas hemorrágicas. | Palaq e Noorani (2016) |

**Tabela 2.** Alterações histopatológicas em diferentes espécies de peixes infectados pelos principais grupos de parasitos.

## 7 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos sistemas de produção de peixes, a ocorrência de doenças pode comprometer, em parte ou na totalidade, os índices de produção, com impactos econômicos negativos. No caso das doenças parasitárias, os danos que os parasitos causam nos tecidos do hospedeiro podem variar de acordo com a espécie do parasito e o estado de saúde prévio do hospedeiro. Nesse sentido, tanto os parâmetros sanguíneos quanto os histopatológicos são, atualmente, as ferramentas complementares mais utilizadas para o diagnóstico de doenças parasitárias em peixes. Quanto aos parâmetros sanguíneos, as respostas mais comuns dos peixes consistem na redução dos parâmetros eritrocitários e índices hematimétricos, além de variações no número de leucócitos e nos valores dos parâmetros bioquímicos. Quanto às alterações histopatológicas, decorrentes das infestações/infecções parasitárias e dependendo de sua intensidade, são comuns os registros de hipertrofia, edema, necrose e descamação epitelial, além de hiperplasia, fusão das lamelas e necrose do tecido branquial dos peixes, que são as principais respostas aos parasitos que tem as brânquias como principal sítio de infecção, enquanto respostas inflamatórias

locais ou difusas, desorganização do tecido e necrose são respostas dos hospedeiros às parasitoses por crustáceos e endohelmintos. Portanto, o conhecimento das alterações nos parâmetros sanguíneos e na estrutura dos tecidos de peixes parasitados podem auxiliar no monitoramento e controle das doenças parasitárias, permitindo o estabelecimento de ações de manejo adequadas para evitar a disseminação de doenças na criação de peixes.

## REFERÊNCIAS


ABDELMONEM, A.A.; METWALLY, M.M.; HUSSEIN, H.S.; ELSHEIKHA, H.M. Gross and microscopic pathological changes associated with parasitic infection in European eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus 1758). **Parasitol. Res**., v. 106, p. 463–469, 2010.

AGUIAR, L.S.; DE OLIVEIRA, M.I.B.; DE MATOS, L.V.; GOMES, A.L.S.; DA COSTA, J.I.; DA SILVA, G.S. Distribution of the acanthocephalan *Neoechinorhynchus buttnerae* and semiquantitative analysis of histopathological damage in the intestine of tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Parasitology Research**, v. 1, p. 1-10, 2018.

AILÁN-CHOKE, L.G.; SÁNCHEZ, R.; CREMONTE, F.; RAMALLO, G.; DAVIES, D. Histopathological study of *Corydoras micracanthus* (Siluriformes: Callichthyidae) parasitized by the nematode *Procamallanus* (*Spirocamallanus*) *pintoi* (Camallanidae) from Lesser River, northwestern Argentina, South America. **Annals of Parasitology**, v. 65, n .3, p. 287-291, 2019.

AKMIRZA, A.; TEPECÍK, R.E. Seasonal variation in some haematological parameters in naturally infected and uninfected roach (*Rutilus rutilus*) with *Cryptobia tincae*. **Journal of Applied Biological Sciences**, v.1, n.3, 61-65, 2007.

ALI, H; ANSARI, K.K. Comparison of haematologial and biochemical indices in healthy and monogenean infected common Carp, *Cyprinus carpio*. **Annals of Biological Research**, v. 3, n. 4, p. 1843-1846, 2012.

ANDRADE-PORTO; S.M.; CÁRDENAS, M.Q.; MARTINS, M.L.; OLIVEIRA, J.K.Q.; PEREIRA, J.N.; ARAÚJO, C.S.O.; MALTA, J.C.O. First record of *Hysterothylacium* sp. larvae (Nematoda:Anisakidae) with zoonotic potential in the pirarucu *Arapaima gigas* (Osteichthyes: Arapaimidae) from South America. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 790-795, 2015.

ARAFA, S.Z.; EL-NAGGAR, M.M.; EL-ABBASSY, S.A. Mode of attachment and histopathological effects of *Macrogyrodactylus clarii*, a monogenean gill parasite of the catfish *Clarias gariepinus*, with a report on host response, **Acta Parasitologica**, v. 54, n. 2, p. 103–112, 2009.

AZIMZADEH, K. Comparative studies of some haematological and serological indices in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) with Ichthyophthiriasis. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 16, p. 617-627, 2016.

BALDISSEROTTO, B.; BARCELLOS, L.G.; FRACALOSSI, D.; KREUTZ, L. Jundiá (*Rhamdia* sp.). *In:* BALDISSEROTTO, B. (Org.) **Espécies Nativas para a Piscicultura no Brasil.** 3. ed., rev. atual. e ampl. Santa Maria: Ed. UFSM, 2020. p. 245-288.

BELO, M.A.A.; SOUZA, D.G.F.; FARIA, V.P; PRADO, E.J.R.; MORAES, F. R.; ONAKA, E.M. Haematological response of curimbas *Prochilodus lineatus*, naturally infected with *Neoechinorhynchus curemai*. **Journal of Fish Biology**, v. 82, p. 1403-1410, 2013.

BILLER, J.D.; TAKAHASHI, L.S.; URBINATI, E.C. Under stress conditions, pacu *Piaractus mesopotamicus* modulates the metabolic allostatic load even after *Dolops carvalhoi* challenge to maintain self-protection mechanisms. **Fish Physiology Biochemistry**, v. 46, p. 1309-1321, 2020.

BLANAR, C. A.; CURTIS M.A.; CHAN, H. M. Growth, nutritional composition, and hematology of arctic charr (*Salvelinus alpinus*) exposed to toxaphene and tapeworm (*Diphyllobothrium dendriticum*) larvae. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 48, p. 397–404, 2005.

BOON, J.H.; CANNAERTS, V.M.H.; AUGUSTIN, H.; MACHIELS, M.A.M.; DE CHARLEROY, D.; OLLIVIER, F. The effect of different infection levels with infective larvae of *Anguillicola crassus* on haematological parameters of European eel (*Anguilla anguilla*). **Aquaculture**, v.87, 243-253, 1990.

BOSI, G.; SHINN, A.P.; GIARI, L.; SIMONI, E.; PIRONI, F.; DEZFULI, B.S. Changes in the neuromodulators of the diffuse endocrine system of the alimentary canal of farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), naturally infected with *Eubothrium crassum* (Cestoda). **Journal of Fish Diseases**, v. 28, p. 703-711, 2005.

BOWERS, J.M.; MUSTAFA, A.; SPEARE, D.J.; CONBOY, G.A.; BRIMACOMBE, M.; SIMS, D.E.; BURKA, J.F. The physiological response of Atlantic salmon, Salmo salar L., to a single experimental challenge with sea lice*, Lepeophtheirus salmonis.* **Journal of Fish Diseases**, v, 23, n. 3, p.165-172*,* 2000.

CAMPOS; C.M.; MORAES, J.R.E.; MORAES, F.R. Histopatologia de fígado, rim e baço de *Piaractus mesopotamicus*, *Prochilodus lineatus* e *Pseudoplatystoma fasciatum* parasitados por myxosporídios, capturados no rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Rev. Bras. Parasitol. Vet.**, v.17, n.4, p. 200-205, 2008.

CAMPOS, C.F.M.; MORAES, J.R.E.; MORAES, F.R. Histopatologia do intestino de *Pseudoplatystoma fasciatum* (Osteichthyes, Pimelodidae) parasitados com cestodas proteocefalídeos e nematodas. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 35, p. 153-158, 2009.

CAMPOS, C.F.M.; MORAES, J.R.E.; MORAES, F. R. Histopathology of gills of *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 and *Prochilodus lineatus* Valenciennes, 1836 infected by monogenean and myxosporea, caugth in Aquidauana river, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 20, p. 65-68, 2011.

CANTANHÊDE, S.M.; CAMPOS, V.C.S.; PEREIRA, D.P.; MEDEIROS, A.M.; NETA, R.N.F.C.; TCHAICKA, L.; SANTOS, D.M.S. Parasitism in gills of *Centropomus undecimalis* (Pisces, Centropomidae) from a protected area in São Luís, Maranhão, Brazil. **Lat. Am. J. Aquat. Res.**, 46, n. 2, p. 377-382, 2018.

CHAVES, I.S.; LUVIZZOTTO-SANTOS, R.; SAMPAIO, L.AN.; BIANCHINI, A.; MARTÍNEZ, P.E. Immune adaptive response induced by *Bicotylophora trachinoti* (Monogenea: Diclidophoridae) infestation in pompano *Trachinotus marginatus* (Perciformes: Carangidae). **Fish & Shellfish Immunology**, v.21, p. 242-250, 2006.

CORRÊA, L.L.; CECCARELLI, P.S.; TAVARES-DIAS, M. An outbreak of *Ichthyophthirius multifiliis* (Ciliophora: Ichthyophthiriidae) in wild endemic fish fauna *Steindachneridium parahybae* (Siluriformes: Pimelodiae) in Brazil. **Annals of Parasitology**, v. 65, n. 4, p. 417–421, 2019.

CORRÊA, L.L.; KARLING, L.C.; TAKEMOTO, R.M.; CECCARELLI, P.S.; UETA, M.T. Hematological parameters of *Hoplias malabaricus* (Characiformes: Erythrinidae) parasitized by Monogenea in lagoons in Pirassununga, Brazil. **Revista Brasileira Parasitologia e Veterinária**, v. 22, n. 4, p. 457-462, 2013.

CORRÊA, L.L.; TAVARES-DIAS, M.; CECCARELLI, P.S.; ADRIANO, E.A. Hematological alterations in *Astyanax altiparanae* (Characidae) caused by *Lernaea cyprinacea* (Copepoda: Lernaeidae). **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 120, p. 77–81, 2016.

COSTA, J.C.; VAL, A.L. Extreme climate scenario and parasitism affect the Amazonian fish *Colossoma macropomum*. **Science of the Total Environment**, v. 776, 138628, 2020.

COSTA, O.T.F.; DIAS, L.C.; MALMANN, C.S.Y.; LIMA FERREIRA, C.A.; CARMO, I.B; WISCHNESKI, A.G.; SOUSA, R.L.; CAVERO, B.A.S.; LAMEIRAS, J.L.V.; DOS-SANTOS, M.C. The effects of stocking density on the hematology, plasma protein profile and immunoglobulin production of juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in Brazil. **Aquaculture**, v. 499, p. 260–268, 2019.

DE OLIVEIRA, M.I.B.; DE MATOS, L.V.; DA SILVA, L.A.; CHAGAS, E.C.; DA SILVA, G.S.; GOMES, A.L.S. The digestive tube of *Piaractus brachypomus*: gross morphology, histology/histochemistry of the mucosal layer and the effects of parasitism by *Neoechinorhynchus* sp. **Journal of Fish Biology**, v. 1, p. 1-12, 2019.

DEL RIO-ZARAGOZA, O.B.; FAJER-AVILA, E.J.; ALMAZÁN-RUEDA, P. Haematological and gill responses to an experimental infection of dactylogyrid monogeneans on the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869). **Aquaculture Research**, v. 41, p. 1592-1601, 2010.

DEL RIO-ZARAGOZA, O.B.; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M.; VIVANCO-ARANDA, M.; ZAVALA-HAMZ, V.A. Blood parameters and parasitic load in *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) from Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 46, n. 5, p. 1110-1115, 2018.

DENSMORE, C.L.; BLAZER, V.S.; WALDROP, T.B.; POOLER, P.S. Effects of whirling disease on selected hematological parameters in rainbow trout. **Journal of Wildlife Diseases**, v. 27, n. 2, p. 375-378, 2001.

DEZFULI, B.S.; BOSI, G.; DEPASQUALE, J.A.; MANERA, M.; GIARI, L. Fish innate immunity against intestinal helminths. **Fish & Shellfish Immunology**, 50, p. 274-287, 2016.

DEZFULI, B.S.; PIRONI, F.; SHINN, A.P.; MANERA, M.; GIARI, L. Histopathology and ultrastructure of *Platichthys flesus* naturally infected with *Anisakis simplex* S.L. larvae (Nematoda: Anisakidae). **J. Parasitol.**, v. 93, p. 1416-1423, 2007.

DICKERSON, H.W. *Ichthyophthirius multifiliis*. *In:* Woo, P.T.K.; Buchmann, K. **Fish parasites: pathobiology and protection.** CAB International, 2012.

DUMBO, J.C.; AVENANT-OLDEWAGE, A. Histopathological changes induced by the digenean intestinal parasite *Masenia nkomatiensis* Dumbo, Dos Santos, & Avenant-Oldewage, 2019 of the catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) from Incomati Basin, Mozambique. **J Fish Dis.**, v. 42, p. 1341–1350, 2019.

EIRAS, J.C.; TAKEMOTO, R.M.; PAVANELLI, G.C. **Diversidade dos parasitas de peixes de água doce do Brasil.** Maringá: Clichetec, 2010.

EVANS, W. Growth, mortality, and hematology of cutthroat trout experimentally infected with the blood fluke *Sanguinicola klamathensis*. **Journal of Wildlife Diseases**, v.10, p. 341-346, 1974.

FAO. 2018. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome, 1–227p.

FAZIO, F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. **Aquaculture**, v. 500, p. 237-242, 2019.

FEIST, S.W.; LONGSHAW, M. Histopathology of fish parasite infections – importance for populations. **Journal of Fish Biology**, v. 73, p. 2143–2160, 2008.

FELIZARDO, N.N.; MENEZES, R.C.; TORTELLY, R.; KNOFF, M.; PINTO, R.M.; GOMES, D.C. Larvae of *Hysterothylacium* sp. (Nematoda: Anisakidae) in the sole fish *Paralichthys isosceles* Jordan, 1890 (Pisces: Teleostei) from the littoral of the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 166, p. 175–177, 2009.

FERGUSON H. **Systemic pathology of fish: a text and atlas of comparative tissue responses in diseases of teleosts**. Ames: Iowa State University Press; 1989.

FERRAZ, E.; SOMMERVILLE, C. Pathology of *Piscinoodinium* sp. (Protozoa: Dinoflagellida), parasites of the ornamental freshwater catfishes *Corydoras* spp. and *Brochis splendens* (Pisces: Callichthyidae). **Dis Aquat Org**., v. 33, p. 43-49, 1998.

FERRAZ DE LIMA, C. L. B.; FERRAZ DE LIMA, J. A.; CECCARELLI, P. S. Ocorrência de acantocéfalos parasitando pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Pisces: Serrasalmidae) em piscicultura. Boletim Técnico do CEPTA, 2:43-51, 1989.

FERREIRA-JUNIOR, J.A.; LEONARDO, A.S.; AZEVEDO, J.P.M.V.B.; RODRIGUES, F.R.; NASCIMENTO, K.A.; MACÊDO, J.T.S.A.; PEDROSO, P.M.O. Surto de infecção por *Piscinoodinium pillulare* e *Trichodina* spp. em tambaquis (*Colossoma macropomu*m), pirapitingas (*Piaractus brachypomus*) e tilápias (*Oreochromis niloticus*) no Distrito Federal, Brasil. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 46, n. 1, p. 293-197, 2018.

FOGEL, D.; FUENTES, J.L.; SOTO, L.M.; LAFUENTE, W.; MONCAYO-ESTRADA, R.; LÓPEZ, C. Ectoparasitic copepod infestation on a wild population of Neotropical catfish *Sciades herzbergii* Bloch, 1794: Histological evidences of lesions on host. **IJP: Parasites and Wildlife**, v. 6, p. 344–348, 2017.

FUJIMOTO, R.Y.; NEVES, M.S.; SANTOS, R.F.B.; CRUZ, C.; DINIZ, D.G.; EIRAS, J.C. Histopathological evaluation of seven Amazon species of freshwater ornamental armored catfish. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v.36, n.3, p. 349-355, 2014.

FURTADO, W.E.; CARDOSO, L.; FIGUEREDO, A.B; MARCHIORI, N.C.; MARTINS, M.L. Histological and hematological alterations of silver catfish *Rhamdia quelen* highly parasitized by *Lernaea cyprinacea*. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 135, p. 157–168, 2019.

GAINES, A.P.L.; LOZANO, L.E.S.; VIANA, G.M.; MONTEIRO, P.C.; ARAÚJO, C.S.O. Tissue changes in the gut of *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), infected by the nematode *Spirocamallanus inopinatus* (Travassos, 1929). **Neotropical Helminthology**, v. 6, p. 147–157, 2012.

GOMEZ-BAUTISTA, M.; SIMON-MARTIN, F. Alteraciones hemáticas en *Rutilus arcasi* (Cyprinidae) infestados experimentalmente con *Sanguinicola* sp. (Digenea: Sanguinicolidae). **Revista Ibérica de Parasitologia**, v. extraordinário, p. 189-193, 1987.

GRIMNES, A.; JAKOBSEN, P.J. The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, v. 48, n. 6, p. 1179-1194, 1996.

GUERRA-SANTOS, B.; ALBINATI, C.B.; MOREIRA, E.L.T.; LIMA, F.W.M.; AZEVEDO, T.M.P.; COSTA, D.S.P.; MEDEIROS, S.D.C.; LIRA, A.D. Parâmetros hematológicos e alterações histopatológicas em bijupirá (*Rachycentron canadum* Linnaeus, 1766) com amyloodiniose. **Pesq. Vet. Bras.**, v. 32, n. 11, p, 1184-1190, 2012.

GUITANG, W. Changes in blood cells of tiger puffer, *Takifugu rubripes* caused by the infection with the monogenean *Heterobothrium okamotoi*. **Acta Hidrobiologica Sinica**, v. 22, p. 83-87, 1998.

GUO, F.C.; WOO, P.T.K. Experimental infections of Atlantic salmon *Salmo salar* with *Spironucleus barkhanus*. **Diseases of Aquatic Organisms**, v.61, p. 59-66, 2004.

GUPTA, N.; GUPTA, D.K.  Erythropenia in piscine trypanosomiasis. **Trends in Parasitology Research**, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2012.

HAMOUDA, A.H.; BAZH, E.K.A. First report of *Posthodiplostomum minimum* metacercariae and resulting histopathological changes in *Bagrus bajad* from Lake Nasser, Egypt. **J Parasit Dis.**, v.43, n.1, p. 14–21, 2019.

HELLER, N.P.; REYDA, F.B.; HELLER, A.D. Histopathology of *Catostomus commersoni* (white sucker) infected with the Acanthocephala *Pomphorhynchus bulbocolli*. **J. Parasitol**., v. 102, n. 5, p. 533-537, 2016.

HINES, R.S., SPIRA, D.T. Ichthiophthiriasis in the mirror carp. II. Leukocytes response. **Journal of Fish Biology**, v. 5, p. 527-534, 1973.

HINES, R.S., SPIRA, D.T. Ichthiophthiriasis in the mirror carp Cyprinus carpio (L). IV. Physiological dysfunction. **Journal of Fish Biology**, v. 6, p. 365-371, 1974.

HIRAZAWA, N.; ISHIZUKA, R.; HAGIWARA, H. The effects of *Neobenedenia girellae* (Monogenea) infection on host amberjack *Seriola dumerili* (Carangidae): Hematological and histopathological analyses. **Aquaculture**, v. 461, p. 32–39, 2016.

HÖGLUND, J.; ANDERSSON, J.; HÄRDIG, J. Haematological responses in the European eel, *Anguilla anguilla* L., to sublethal infestation by *Anguillicola crassus* in a thermal effluent of the Swedish Baltic. **Journal of Fish Diseases**, v.15, p. 507-514, 1992.

HORTON, T.; OKAMURA, B. Post-haemorrhagic anaemia in sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.), caused by blood feeding of *Ceratothoa oestroides* (Isopoda: Cymothoidae). **Journal of Fish Diseases**, v. 26, n. 7, p. 401-406, 2003.

ISHIKAWA, M.M.; PÁDUA, S.B.DE; VENTURA, A.S.; CAPECCI, R.S.; VENDRUSCOLO, A. B.; J. R. CARRIJO-MAUAD. Infestação por ictio em surubim híbrido durante a fase inicial de criação. **Comunicado Técnico** 165, p. 1-5, 2011.

IWASHITA, M.K.P.; MACIEL, P.O. Princípios básicos de sanidade de peixes. *In:* RODRIGUES, A.P.O. et al. (Orgs.). **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos**. Brasília: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2013. p. 215-272.

IRSHADULLAH, M.; MUSTAFA, Y. Pathology induced by *Pomporhynchus kashmiriensis* (Acanthocephala) in the alimentary canal of naturally infected Chirruh snow trout, *Schizothorax esocinus* (Heckel). **Helminthologia**, v. 49, p. 11-15, 2012.

JERÔNIMO, G.T.; PÁDUA, S.B.; BELO, M.A.A.; CHAGAS, E.C.; TABOGA, S.R.; MACIEL, P.O.; MARTINS, M.L. *Neoechinorhynchus buttnerae* (Acanthocephala) infection in farmed *Colossoma macropomum*: a pathological approach. **Aquaculture**, v. 469, p. 124-127, 2017.

JERÔNIMO, G.T.; PÁDUA, S.B.; BAMPI, D.; GONÇALVES, E.L.T.; GARCIA, P.; ISHIKAWA, MM; MARTINS, M.L. Haematological and histopathological analysis in South American fish *Piaractus mesopotamicus* parasitized by monogenean (Dactylogyridae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 4, p. 1000-1006, 2014.

JONES, A.S.; GRUTTER, C.M. Parasitic isopods (*Gnathia* sp.) reduce haematocrit incaptive blackeye thicklip (Labridae) on the Great Barrier Reef. **Journal of Fish Biology**, v. 66, p. 860-864, 2005.

JUSTO, M.C.N.; KOHN, A.; PEREIRA, C.S.; FLORES-LOPES, F. Histopathology and autoecology of *Didymocylindrus simplex* (Digenea: Didymozoidae), parasite of *Katsuwonus pelamis* (Scombridae) in the Southwestern Atlantic Ocean, off South America. **Zoologia**, v. 30, n. 3, p. 312–316, 2013.

JUSTO, M.C.N.; TORTELLY, R.; MENEZES, R.C.; KOHN, A. First record in South America of *Didymosulcus palati* and *Didymosulcus philobranchiarca* (Digenea, Didymozoidae) with new hosts records and pathological alterations. **Mem Inst Oswaldo Cruz**, v.103, n.2, p.207-210, 2008.

KAUR, P.; SHRIVASTAV, R.; QURESHI, T.A. Pathological effect on naturally infected kidneys of freshwater murrels by *Euclinostomum heterostomum* metacercariae. **J Parasit Dis.**, v.40, n.1, p.157–160, 2016.

KHAN, S.; AHMED, S.; SAIFULLAH, M.K. Haematological studies on Trichogaster *fasciatus* fish infected with *Clinostomum complanatum* metacercariae. **Journal of Biological Sciences and Medicine**, v. 3, n. 4, p. 35-39, 2017.

KILIAN, E.; AVENANT-OLDEWAGE, A. Infestation and pathological alterations by *Ergasilus sarsi* (Copepoda) on the *Tanganyika Killifish* from Africa. **Journal of Aquatic Animal Health**, v.25, p.237–242, 2013.

KIM, S.R.; LEE, J.S.; KIM, J.H.; OH, M.J.; KIM, C.S.; PARK, M.A.; PARK, J.J. Fine structure of *Longicollum pagrosomi* (Acanthocephala: Pomphorhynchidae) and intestinal histopathology of the red sea bream, *Pagrus major*, infected with acanthocephalans. **Parasitol. Res.**, v. 109, p. 175-184, 2011.

KUNDU, I; BANDYOPADHYAY, P.K; MANDAL, D.R; GURELLI, G. Study of pathophysiological effects of the nematode parasite *Eustrongylides* sp. on freshwater fish *Channa punctatus* by hematology, serum biochemical, and histological studies. **Turkiye Parazitol Derg**, v. 40, p. 42-47, 2016.

KURAIEM, B.P.; KNOFF, M.; FELIZARDO, N.N.; MENEZES, R.C.; GOMES, D.C.; SÃO CLEMENTE, S.C. Histopathological changes induced by *Hysterothylacium deardorffoverstreetorum* larvae (Nematoda: Raphidascarididae) in *Priacanthus arenatus* Cuvier, 1829 (Actinopterygii). **Brazilian Journal of Vetinary Parasitology**, v. 26, n. 2, p. 239-242, 2017.

KUROVSKAYA, L.N.; OSADCHAYA, S.A. The influence of *Ichthyophthirius multifiliis* on urderyearling carp, *Cyprinus carpio*. **Journal of Ichthyology**, v. 33, n.4, 81-92, 1993.

LAIDLEY, C.W.; WOO, P.T.; LEATHERLAN, J.F. The stress of rainbow trout to experimental infection with the blood parasite *Cryptobia salmositica* Katz, 1951. **Journal of Fish Biology**, v.32, p. 253-261, 1988.

LAPIROVA, T.B.; ZABOTKINA, E.A. Effect of trypanosomiasis on hematologic characteristics of bream (*Abramis brama*). **Regulatory Mechanisms in Biosystems**, v. 9, n. 3, p. 309–314, 2018.

LEE, B.S.; KIM. J.H.; KIM, T.; JUNG, S.J. Morphology of *Neoheterobothrium hirame* parasitic in the oral cavity of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and histopathology of diseased fish. **Journal of Fish Pathology** v. 33, n. 1, p. 7-14, 2020.

LEHMANN, N.B.; OWATARI, M.S.; FURTADO, W.E.; CARDOSO, L.; TANCREDO, K.R.; JESUS, G.F.A.; LOPES, G.R.; MARTINS, M.L. Parasitological and histopathological diagnosis of a non-native fish (*Oreochromis* sp.) with a noticeable presence in a natural Brazilian river environment. **Journal of Parasitic Diseases**, v. 44, n. 1, 201-212, 2020.

LIU, T.; WEI, W.Y.; WANG, K.Y.; YANG, Q.; WANG, E.L. Pathological and immunological analyses of *Thelohanellus kitauei* (Myxozoa: Myxosporea) infection in the scattered mirror carp, Cyprinus carpio. **Scientific Reports**, v. 9, 20014, 2019.

LOURENÇO, F.S.; MOREY, G.A.M.; MALTA, J.C.O. The development of *Neoechinorhynchus buttnerae* (Eoacanthocephala: Neoechinorhynchidae) in its intermediate host *Cypridopsis vidua* in Brazil. **Acta Parasitologica**, v. 63, n. 2, p. 354-359, 2018.

MACIEL, P.O.; GARCIA, F.; CHAGAS, E.C.; FUJIMOTO, R.Y.; TAVARES-DIA, M. Trichodinidae in commercial fish in South America. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 28, n. 1, p.1-24, 2017.

MAQBOOL, A.; AHMED, I. Haematological response of snow barbell, *Schizothorax plagiostomus* Heckel, naturally infected with a new *Trypanosoma* species. **Journal Parasitic Diseases,** v. 40, n. 3, p. 791–800, 2016.

MALTA J.C.O; GOMES A.L.; ANDRADE S.M.S, VARELLA A.M.B. Infestações maciças por acantocéfalos, *Neoechinorhynchus buttnerae* Golvan, 1956, (Eoacanthocephala: Neoechinorhynchidae) em tambaquis jovens, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) cultivados na Amazônia Central. **Acta Amazonica,** v.31, p.133-143, 2001.

MANRIQUE, W.G.; CLAUDIANO, G.; FIGUEIREDO, M.A.P.; PETRILLO, T.R.; MORAES, J.R.E.; MORAES, F.R. Myxosporidiosis in intensively-reared *Piaractus mesopotamicus*: Histopathological diagnosis by means of Ziehl-Neelsen staining. **Pesq. Vet. Bras.**, v. 32, n. 11, p. 1133-1137, 2012.

MARINHO, R.G.B.; TOSTES, L.V.; BORGES, M.; YOSHIOKA, E.T.O.; DIAS, M.T. Respostas hematológicas de *Arapaima gigas* (Pisces: Arapaimidae) parasitados naturalmente por protozoários e metazoários. **Biota Amazônia**, v. 5, p. 105–108, 2015.

MARTINS, M.L.; ROMERO, N.G. Efectus del parasitismo sobre el tegido branquial en peces cultivados: Estudio parasitológico e histopatológico. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.13, n.2, p.489–500, 1996.

MARTINS, M.L.; TAVARES-DIAS, M.; JANIK, A.J.; KENT, M.L., JERÔNIMO, G.T. Hematology and condition factor of tui chub and fathead minnow parasitized by nematode from upper Klamath Lake, Oregon, USA. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 126, p. 257–262, 2017.

MARTINS, M.L.; MORAES, J.R.E.; ANDRADE, P.M.; SCHALCH, S.H.C.; MORAES, F.R. *Piscinoodinium pillulare* (Shaperclaus, 1954) Lom, 1981 (Dinoflagellida) infection in cultivated freshwater fish from Northeast region of São Paulo State, Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, n.4, p. 639-644, 2001a.

MARTINS, M.L.; MORAES, F.R.; FUJIMOTO, R.Y.; ONAKA, E.M.; QUINTANA, C.I.F. Prevalence and histopathology of *Neoechinorhynchus curemai* Noronha, 1973 (Acanthocephala: Neoechinorhynchidae) in *Prochilodus lineatus* Valenciennes, 1836 from Volta Grande Reservoir, MG, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 61, n. 3, p. 517-522, 2001b.

MATOS, L.V.; OLIVEIRA, M.I.B.; GOMES, A.L.S.; SILVA, G.S. Morphological and histochemical changes associated with massive infection by *Neoechinorhynchus buttnerae* (Acanthocephala: Neoechinorhynchidae) in the farmed freshwater fish *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 from the Amazon State, Brazil. **Parasitology Research**, v. 116, n. 3, p. 1029-1037, 2017.

MAZUR, O. E.; KUTYREV, I. A.; DUGAROV, Z.N. Cytomorphological changes in the blood and mesonephros of goldfish infected with *Ligula* (*Digramma*) *interrupta* (Cestoda: Pseudophyllidea). **Biology Bulletin**, v. 47, n. 1, p. 56–62, 2020.

MCALLISTER, M.; PHILLIPS, N.; BELOSEVIC, M. *Trypanosoma carassii* infection in goldfish (*Carassius auratus* L.): changes in the expression of erythropoiesis and anemia regulatory genes. **Parasitology Research**, v. 118, n. 4, p. 1147-1158, 2019.

MENEZES, R.C.; SANTOS, S.M.C.; CECCARELLI, P.S.; TAVARES, L.E.R.; TORTELLY, R.; LUQUE, J.L. Tissue alterations in the pirarucu, *Arapaima gigas*, infected by *Goezia spinulosa* (Nematoda). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 20, p. 207–209, 2011.

MLADINEO, I. Histopathology of five species of *Didymocystis* spp. (Digenea: Didymozoidae) in cage-reared Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*). **Veterinary Research Communications**, v. 30,

n. 5, p. 475–484, 2006.

MLADINEO, I.; ZRNCIC, S.; ORAIC, D. Severe helminthic infection of the wild brown trout (*Salmo trutta*) in Cetina River, Croatia; preliminary observation. **Bulletin of the European Association of Fish Pathologists**, v. 29, p. 86-91, 2009.

MOHANTY, B.P.; MAHANTY, A.; GANGULYA, S.; MITRAA, T.; KARUNAKARANA, D.; ANANDAN, R. Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security. **Food Chemistry**, v. 293, p. 561-570, 2019.

MORAVEC, F. **Nematodes of freshwater fishes of the neotropical region.** Academy of Science of the Czech Republic. 464p. 1998.

MORSY, K.; EL FAYOUMI, H.; FAHMY, M. Description of *Acleotrema maculatus* sp. nov. (Monogenea: Diplectanidae) infecting the spotted coral grouper *Plectropomus maculatus* (F: Serranidea) from the Red Sea and its histopathological impact. **Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 3, p. 222-228, 2014.

MÜLLER, M.I.; CECCARELLI, P.S.; UETA, M.T. Supplementary studies on *Anacanthorus penilabiatus* and *Mymarothecium viatorum* (Monogenea: Dactylogyridae) from *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes: Serrasalmidae) in Brazil. **Acta Parasitologica**, v. 61, n. 3, p. 508–515, 2016.

MURAD, A.; MUSTAFA, S. Blood parameters of catfish, Heteropeneustes fossilis (Bloch), parasitized by metacercariae of *Diplostomulum* sp. **Journal of Fish Diseases**, v. 11, p. 365-368, 1988.

MURPHY, T.M.; BERZANO, M.; O'KEEFFE, S.M.; COTTER, D.M.; MCEVOY, S.E.; THOMAS, K.A.; MAOILE´IDIGH, N.P.O.; WHELAN, K.F. Anisakid larvae in Atlantic salmon (S*almo salar* l.) grilse and post-smolts: molecular identification and histopathology. **Journal of Parasitology**, v. 96, n. 1, p. 77–82, 2010.

NAGARAJU, C.; RAJASHEKHAR, A.V. Influence of Acanthocephala parasite on haematological changes in *Labeo rohita* (Hamilton,1822) of Veeranna Cheruvu, Hasnapur, Mahabubnagar District, Telangana State, India. **International Journal of Scientific Research in Science and Technology**, v. 4, n. 2, 315-325, 2018.

NAIR, G.A.; NAIR, N.B. Effect of infestation with the isopod, *Alitropus typus* M. Edwards (Crustacea: Flabellifera: Aegidae) on the haematological parameters of the host fish, *Channa striatus* (Bloch). **Aquaculture**, v.30, p. 11-19, 1983.

NAKAMOTO, W.; SILVA, A.J.; MACHADO, P.E.A.; PADOVANI, C.R. Glóbulos brancos e *Cyrilla gomesi* (Hemoparasita) em *Synbrachus marmoratus* Bloch, 1795 (Pisces, Synbranchidae) da região de Biriqui, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 51, n. 4, p. 755-761, 1991.

NICKOL, B.B. Phylum Acanthocephala. *In:* WOO, P.T.K. (Ed.). **Fish Diseases and Disorders, Volume 1: Protozoan and Metazoan Infections.** Canadá: University of Guelph, p. 444-465, 2006.

NOGA, E.J. **Fish Disease: Diagnosis and treatment.** Second Edition. Wiley-Blackwell, Iowa, USA, 519p. 2010.

OĞUZ, A.R.; OĞUZ, E.K. Histopathology and immunohistochemistry of gills of Van fish (*Alburnus tarichi* Güldenstädt, 1814) infected with myxosporean parasites. **Journal of Histotechnology**, v. 43, n. 2, p. 76-82, 2020.

OLIVEIRA, M.S.B.; CORREA, L.L.; FERREIRA, D.O.; TAVARES-DIAS, M. Larvas de nematoides de potencial zoonótico infectando peixes carnívoros do baixo Rio Jari, no Norte do Brasil. **Biota Amazônia**, v. 9, p. 50-52, 2019.

**ÖZDEMIR, G.; E.Ş., YILMAZ, S.; GÜRKAN, M.; KAYA, H. Histopathology and Blood Parameters of bogue fish (***Boops boops*, Linnaeus 1758) parasitized by *Ceratothoa oestroides* (Isopoda: Cymothoidae). **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.16, p. 579-590, 2016.

PADRÓS, F.; KNUDSEN, R.; BLASCO-COSTA, I. Histopathological characterisation of retinal lesions associated to *Diplostomum* species (Platyhelminthes: Trematoda) infection in polymorphic Arctic charr *Salvelinus alpinus.* IJP: **Parasites and Wildlife**, v. 7, p. 69-74, 2018.

PÁDUA, S.B.; JERÔNIMO, G,T.; MENEZES-FILHO, R.N.; TABOGA, S.R.; MARTINS, M.L.; DE ANDRADE BELO, M.A. Pathological assessment of farmed yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* infested by *Acusicola* sp. (Ergasilidae). **Aquaculture Reports**, v. 2, p. 63-66, 2015.

PALAQ, S.L.; NOORANI, I.A. Histology of gills of *Labeo rohita* infected by crustacean parasite *Argulus* sps. **International Journal of Advanced Research**, v.4, n.7, p.1387-1392, 2016.

PALLER, V.G.V.; SY, R.A.R.; BANDAL Jr., M.Z. Hematology and histopathology of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) infected with *Acanthogyrus* sp. (Acanthocephala: Quadrigyridae). **Ecology, Environment and Conservation Paper**, v. 22. n. 1, p. 493-500, 2016.

PARDESHI, P.R. Histopathological changes due to the infection of cestode parasite, *Circumoncobothrium* sp. in fresh water fish, *Mastacembelus armatus* (Lecepede, 1800). **International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture**, v. 3, n. 8, p. 38-41, 2017.

PAVANELLI, G.C.; EIRAS, J.C.; TAKEMOTO, R.M. **Doença de peixes, profilaxia, diagnóstico e tratamento**. Eduem, Maringá, 2008, 311p.

PEÑA-REHBEIN, P.; RUIZ, K.; ORTLOFF, A.; PIZARRO, M.I.; NAVARRETE, C. Hematological changes in *Eleginops maclovinus* during an experimental *Caligus rogercresseyi* infestation. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 22, n. 3, p. 402-406, 2013.

PETTERSEN, R.A; HYTTERØD, S; VØLLESTAD, L.A; MO, T.A. Osmoregulatory disturbances in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., caused by the monogenean *Gyrodactylus salaris*. **Journal of Fish Diseases**, v. 36, p. 67-70, 2013.

PURIVIROJKUL, W. Histological Change of Aquatic Animals by Parasitic Infection, Histopathology - Reviews and Recent Advances, Enrique Poblet Martinez, IntechOpen, 2012. DOI: 10.5772/52769. Available from: https://www.intechopen.com/ books/histopathology-reviews-and-recent-advances/ histological-change-of-aquatic-animals-by-parasitic-infection

RAHKONEN, R.; PASTERNACK, M. Effect of experimental *Diphyllobothrium dendriticum* infection on the blood leucocyte pattern of brown trout at two temperature levels. **Boreal Environment Research**, v.3, p. 381.386, 1998.

RANZANI-PAIVA, M.J.T.; VIEIRA, A.L.; ISHIKAWA, C.M. Análises dos constituintes do plasma sanguíneo da carpa, *Cyprinus carpio*, infestada por *Argulus* sp. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 16, n. 1, p. 117-121, 1989.

RANZANI-PAIVA, M.J.T.; ISHIKAWA, C.M.; CAMPOS, B.E.S.; EIRAS, A.C. Haematological characteristics associated with parasitism in mullets, *Mugil platanus* **Günther, from the estuarine region of Cananédia, São Paulo, Brazil. Revista Brasileira de Zoologia**, v.14, n. 2. p. 329-339, 1997.

RANZANI-PAIVA, M.J.T.; PÁDUA, S.B.; TAVARES-DIAS, M.; EGAMI, M.I. **Métodos para análises hematológicas em peixes**. Maringá: Eduem, 2013. 140p

RANZANI-PAIVA, M.J.T.; Silva-Souza, A.T.; Pavanelli, G.C.; Takemoto, R.M. Hematological characteristic and relative condition factor (Kn) associated with parasitism in *Schizodon borellii* (Osteichthyes, Anostomidae) and *Prochilodus lineatus* (Osteichthyes, Prochilodontidae) from Paraná River, Porto Rico region, Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 2, p. 515-521, 2000.

RASTIANNASAB, A.; AFSHARMANESH, S.; RAHIMI, R.; SHARIFIAN, I. Alternations in the liver enzymatic activity of common carp, *Cyprinus carpio* in response to parasites, *Dactylogyrus* spp.and *Gyrodactylus* spp. **Journal of Parasitic Diseases**, v. 40, n. 4, p. 1146-1149, 2016a.

RASTIANNASAB, A.; HEMMATZADEH, M.; KHARA, H.; SALJOGHI, Z.S. Changes of haematological indices of grass carp, *Ceteopharyngodon idella* exposed to monogenean parasites, *Gyrodactylus* spp. and *Dactylogyrus* spp. **Journal of Parasitic Diseases**, v. 40, n. 3, p. 627–629, 2016b.

REDDY, L.; BENARJEE, G. Histopathological changes induced by cestode parasite in fresh water murrel. **Biolife**, v. 2, n. 1, p. 324-328, 2014.

RIBEIRO, T.S.; TAKEMOTO, R.M. Resposta inflamatória do pintado à infecção por *Nomimoscolex pertierrae* (Eucestoda: Proteocephalidea). **Bol. Inst. Pesca**, v. 40, n. 1, p. 111-120, 2014.

RIVADENEYRA, N.L.S.; MERTINS, O.; CUADROS, R.C.; MALTA, J.C.O.; MATOS, L.V.; MATHEWS, P.D. Histopathology associated with infection by *Procamallanus* (*Spirocamallanus*) *inopinatus* (Nematoda) in farmed *Brycon cephalus* (Characiformes) from Peru: a potential fish health problem. **Aquaculture International**, v. 28, p. 449-461, 2020.

ROCHA, M.J.; JERÔNIMO, G.T.; COSTA, O.T.; MALTA, J.C.O.; MARTINS, M.L.; MACIEL, P.O.; CHAGAS, E. C. Changes in hematological and biochemical parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) parasitized by metazoan species. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 27, p. 488-494, 2018.

ROJAS, V.; SÁNCHEZ, D.; GALLARDO, J.A. Histopathological changes induced by *Caligus rogercresseyi* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Latim American Journal of Aquatic Reserach**, v.46, n.4, p.843-848, 2018.

RUANE, N. M., D. T. NOLAN, J. ROTLLANT, J. COSTELLOE, S. E. WENDELAAR BONGA. Experimental exposure of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) to the infective stages of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer) influences the physiological response to an acute stressor. **Fish & Shellfish Immunology**, v.10, p. 451-463, 2000.

SABRI, D.M.; EL-DANASOURY, M.A.E-H.; EISSA I.A.E.M.; KHOURAIBA, H.M. Impact of henneguyosis infestation on hematological parameters of catfish (*Clarias garipienus*). **International Journal of Agricultural and Biology**, v.11, p. 228–230, 2009.

SAHA, M.; BANDYOPADHYAY, P.K. Parasitological and histological analysis of a new species of the genus *Thalohanellus* and description of a myxozoan parasite (Myxosporea: Bivalvulida) from cultured ornamental goldfish, *Carassius auratus* L. **Aquaculture Reports**, v. 8, p. 8–15, 2017.

SAKTHIVEL, A.; GOPALAKRISHNAN, A.; SELVAKUMAR, P. Occurrence and pathological studies on acanthocephalan (*Neoechinorhynchus agili*) infestation in fishes from Tamil Nadu, South-east coast of India. **Journal of Fisheries and Life Sciences**, v. 5, n. 1, p. 38-43, 2020.

SALES, R.O.; MAUAD, J.R.C.; HONORATO, C.A.; SILVA, K.E.; VERCONTI, J.; RAGAGNIN, P.M.; BORSUK, S.; MARTINS, M.L.; SIMIONATTO, S. Histopathology and molecular identification of *Henneguya pseudoplatystoma*. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 48, n. 2, p. 207-2013, 2020.

SANIL, N.K.; ASOKAN, P.K.; JOHN, L.; VIJAYAN, K.K. Pathological manifestations of the acanthocephalan parasite, *Tenuiproboscis* sp. in the mangrove red snapper (*Lutjanus argentimaculatus*) (Forsskål, 1775), a candidate species for aquaculture from Southern India. **Aquaculture***,* v. 310, p. 259-266, 2011.

SANT´ANA, FJ. F.; OLIVEIRA, S.L.; RABELO, R.E.; VULCANI, V.A.S.; SILVA, S.M.G.; FERREIRA JÚNIOR, J.A. Surtos de infecção por *Piscinodinium pillulare* e *Henneguya* spp. em pacus (*Piaractus mesopotamicus*) criados intensivamente no Sudoeste de Goiás. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 121-125, 2012.

SANTOS, C.P.; MACHADO, P.M.; SANTOS, E.G.N. Acanthocephala. *In:* PAVANELLI, G. C.; TAKEMOTO, R.M.; EIRAS, J.C. **Parasitologia. Peixes de Água Doce.** Maringá, Eduem, p.353-370, 2013.

SANTOS, M.A.; JERÔNIMO, G.T.; CARDOSO, L.; TANCREDO, K.R.; MEDEIROS, P.B.; FERRAREZI, J.V.; GONÇALVES, E.L.T.; DA COSTA ASSIS, G.; MARTINS, M.L. Parasitic fauna and histopathology of farmed freshwater ornamental fish in Brazil. **Aquaculture**, v. 470, p. 103-109, 2017.

SARAIVA, A. Aspectos gerais de histologia e histopatologia de peixes. *In:* Silva-Souza, A.T. (Org.). **Sanidade de Organismos Aquáticos no Brasil.** Maringá, PR: Abrapoa, 2006. p.239-252.

SCHALCH, S.H.C; MORAES, F.R.DE; MORAES, J.R.E.DE. Effects of parasitism on gill structure of *Leporinus macrocephalus* Garavello and Britsk, 1988 (Anastomidae) and *Piaractus mesopotamicus* Holmberg,1887 (Osteichthyes: Characidae). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v.15, n.3, p.110-115, 2006.

SHAHAROM-HARRISON, F.M.; ANDERSON, I.G.; SITI, A.Z.; SHAZILI NOOR A.M.; ANG, K.J.; AZMI, T.I. Epizootics of Malaysian cultured freshwater pond fishes by *Piscinoodinium pillulare* (Schaperclaus 1954) Lom 1981. **Aquaculture**, v.86, n. 2, p.127-138, 1990.

SHIMURA, S., INOUE, K. KASAI, K; SAITO, M. Hematological changes of *Oncorhynchus masou* (Salmonidae) caused by the infection of *Argulus coregoni* (Crustacea: Branchiura). **Fish Pathology**, v.18, n. 3, p. 157-162, 1983.

SITJÀ-BOBADILLA, A.; ALVAREZ-PELLITERO, P. Experimental transmission of *Sparicotyle chrysophrii* (Monogenea: Polyopisthocotylea) to gilthead seabream (*Sparus aurata*) and histopathology of the infection. **Folia Parasitologica**, v. 56, n. 2, p. 143–151, 2009.

SILVA-GOMES, A.L.; GOMES, C.F.J.; VIANA-SILVA, W.; DE OLIVEIRA, M.I.; BERNARDINO, G.; COSTA, J.I. The impact of *Neoechinorhynchus buttnerae* (Golvan, 1956) (Eoacanthocephala: Neochinorhynchidae) outbreaks on productive and economic performance of the tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), reared in ponds. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 45, n. 2, p. 496-500, 2017.

SILVA-SOUZA, A.T.; ALMEIDA, S.C.; MACHADO, P.M. Effect of the infestation by *Lernaea cyprinacea* Linnaeus, 1758 (Copepoda, Lernaeidae) on the leucocytes of *Schizodon intermedius* Garavello & Britski, 1990 (Osteichthyes, Anostomidae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, p. 217-220, 2000.

SOBERON, L.; MATHEWS, P.; MALHERIOS, A. Hematological parameters of *Colossoma macropomum* naturally parasitized by *Anacanthorus spathulatus* (Monogenea: Dactylogiridae) in fish farm in the Peruvian Amazon. **International Aquatic Research**, v. 6, p. 251–255, 2014.

SOPINSKA, A. Effects of physiological factors, stress, and disease on hematologic parameters of carp, with a particular reference to the leukocyte patterns. III. Changes in blood accompanying branchionecrosis and bothriocephalosis. **Acta Ichthyologica et Piscatoria**, v.15, n. 2, p. 141-170, 1985.

SOUSA, L.F.; SOUZA, D.C.; COÊLHO, T.A.; TAVARES-DIAS, M.; CORRÊA, L.L. Morphometric Characterization of *Trypanosoma* spp. and blood parameters in *Pterygoplichthys pardalis* (Pisces: Loricariidae) from the Brazilian Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2020 (No prelo).

SOUZA, D.C.M.; SANTOS, M.C.; CHAGAS, E.C. Immune response of teleost fish to helminth parasite infection. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 28, p. 533-547, 2019.

STECKERT, L.D.; CARDOSO, L.; JERÔNIMO, G.T.; PÁDUA, S.B.; MARTINS, M.L. Investigation of farmed Nile tilapia health through histopathology. **Aquaculture**, v. 486, p. 161-169, 2018.

TAKEMOTO, R.M.; LUQUE, J.L.; BELLAY, S.; LONGHINI, C.E.; GRAÇA, R.J. DA. Peixes de agua doce do Brasil. *In:* Pavanelli, G.C.; Takemoto, R.M.; Eiras, J. da C. (Eds.), **Parasitologia de Peixes de Água Doce No Brasil**. 1a ed. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, p.273–299. 2013.

TAVARES-DIAS, M.; ARAÚJO, C.S.O.; BARROS, M.S.; VIANA, G.M. New hosts and distribution records of *Braga patagonica*, a parasite cymothoidae of fishes from the amazona. **Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology**, v. 18, n. 1, p. 91-97, 2014.

TAVARES-DIAS M. Parâmetros sanguíneos de referência para espécies de peixes cultivados. *In:* TAVARES-DIAS M, MARIANO WS. ***Aquicultura no Brasil: novas perspectivas***. São Carlos: Editora Pedro & João; 2015. p. 11-30.

TAVARES-DIAS, M.; ARAÚJO, C.S.O.; BARROS, M.S.; VIANA, G.M. New hosts and distribution records of *Braga patagonica*, a parasite cymothoidae of fishes from the Amazon. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 18, p. 91-97, 2014.

TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M. L. An overall estimation of losses caused by diseases in the Brazilian fish farms. **Journal of Parasitic Diseases**, v. 41, p.1-9, 2017.

TAVARES-DIAS, M.; DIAS-JÚNIOR, M.B.F.; FLORENTINO, A.C.; SILVA, L.M.A.; CUNHA, A.C. Distribution pattern of crustacean ectoparasites of freshwater fish from Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 24, p.36-147, 2015.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R.; MARTINS, M.L. Hematological assessment in four Brazilian teleost fish with parasitic infections, collected in feefishing from Franca, São Paulo, Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 2, p. 189-196, 2008.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R.; MARTINS, M.L.; SANTANA, A.E. Haematological changes in *Oreochromis niloticus* (Osteichthyes: Cichlidae) with gill ichthyophthiriasis and saprolegniosis. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.28, n. 1, p.1-9, 2002.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R.; ONAKA, E.M.; REZENDE, P.C.B. Changes in blood parameters of hybrid tambacu fish parasitized by *Dolops carvalhoi* (Crustacea, Branchiura), a fish louse. **Veterinarski Arhiv**, v. 77, n. 4, p. 355-363, 2007.

TAVARES-DIAS, M.; SCHALCH, S.H.C.; MARTINS, M.L.; SILVA, E.D.; MORAES, F.R.; PERECIN, D. Hematologia de teleósteos brasileiros com infecção parasitária. 1. Variáveis de *Leporinus macrocephalus* Garavelo e Britski, 1988 (Anostomidae) e *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Chracidae). **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 2, 337-342, 1999.

THATCHER, V.E. **Amazon Fish Parasites.** 2ª. ed. Sofia: Pensoft Publishers, 2006.

TRUJILLO-GONZALEZ, A.; JOHNSON, L.K.; CONSTANTINOIU, C.C.; HUTSON, K.S. Histopathology associated with haptor attachment of the ectoparasitic monogenean *Neobenedenia* sp. (Capsalidae) to

barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch). **Journal of Fish Diseases**, v. 38, n. 12, p. 1063-1067, 2014.

TUFAIL, H.; QURESHI, N.A.; KHAN, N.; IQBAL. K.J.; KHAN, M.R.; MAQBOOL, A. Prevalence and effects of *Lernaea cyprinacea* (anchor worm) on the growth, skin histopathology and hematology of *Catla catla.* **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 16, n. 1, p. 341-351, 2017.

VARGAS, M.; SANDOVAL, N.; CASAS, E.; PIZANGO, G.; MANCHEGO, A. Parásitos y lesiones histopatológicas en branquias de gamitanas (*Colossoma macropomum*) juveniles bajo crianza semiintensiva. **Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú**, v. 26, n. 4, p. 577-586, 2015.

VARGAS, R.J.; SOUZA, S.M.G. DE; MABILIA, R.G.; CARLET, F.; BAGGIO, S.R. Resposta fisiológica à infestação experimental com *Ichthyophthirius multifiliis* (Fouquet, 1876) em alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy e Gaimard, 1824) previamente alimentados com diferentes fontes lipídicas. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 17, n. 2, p. 81-86, 2008.

VENTURA, A.S.; ISHIKAWA, M.M.; GABRIEL, A.M.A.; SILBIGER, H.L.N.; CAVICHIOLO, F.; TAKEMOTO, R.M. Histopathology from liver of tuvira (*Gymnotus* spp.) parasitized by larvae of nematodes. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1233-1239, 2016.

VENTURA, M.T.; PAPERNA, I. Histopathology of *Ichthyophthirius multifiliis* infection in fishes. **Journal of Fish Biology**, v. 27, p. 185–203, 1985.

VENTURA, A.S.; GABRIEL, A.M.A.; SARAVY, T.M.; CAVICHIOLO, F. Descrição histopatológica das lesões intestinais de híbrido patinga parasitado. **Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública**, v. 4, p. 2-8, 2017.

VIEIRA, D.H.M.D., RANGEL, L.F., TAGLIAVINI, V.P. *et al.* A new species, *Henneguya lacustris* n. sp. (Cnidaria: Myxosporea), infecting the gills of *Astyanax lacustris* from Brazil. **Parasitology Research***,* 2020). https://doi.org/10.1007/s00436-020-06871-5

WANSTALL, S.T.; ROBOTHAM, P.W.J.; THOMAS, J.S. Pathological changes induced by *Pomphorhynchus laevis* Muller (Acanthocephala) in the gut of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. **Zeitschrift für Parasitenkunde,** v. 72, p. 105-114, 1986.

WITESKA, M.; KONDERA, E.; ŁUGOWSKA, K. The effects of ichthyophthiriasis on some haematological parameters in common carp. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 34, n. 3, p. 267-271, 2010.

YOKOYAMA, H.; DANJO, T.; OGAWA, K.; ARIMA, T.; WAKABAYASHI, H. Hemorrhagic anemia of carp associated with spore discharge of *Myxobolus artus* (Myxozoa: Myxosporea). **Fish Pathology**, v.31, n. 1, p. 19-23, 1996.

YOUNIS, N.A.; LABAN, S.E.; AL-MOKADDEM, A.K.; ATTIA, M.M. Immunological status and histopathological appraisal of farmed *Oreochromis niloticus* exposed to parasitic infections and heavy metal toxicity. **Aquaculture International**, 2020. Published: 17 August 2020.

ZHANG, X.; NING, X.; HE, X.; SUN, X.; YU, X.; CHENG, Y.; YU, R.Q.; WU, Y. Fatty acid composition analyses of commercially important fish species from the Pearl River Estuary, China. **PLoS ONE**, v. 15, n. 1, e0228276, 2020.

# Sobre os Organizadores

## SOBRE OS ORGANIZADORES

**BRUNO OLIVETTI DE MATTOS -** Engenheiro de Pesca pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2007), Mestre em Zootecnia na área de concentração em Produção e Nutrição de Monogástricos pela Universidade Federal de Lavras (2010), MBA Executivo em Gerenciamento de Projetos concluído pela AVM (2016), Doutor em Zootecnia na área de concentração de Produção de Monogástricos e Aquicultura pela Universidade Federal da Bahia (2018), com Doutorado Sanduíche concluído na Universidad de Murcia (Espanha) em Comportamento Alimentar, Bem-Estar e Fisiologia de organismos aquáticos. Tem experiência em nutrição, alimentação, produção, manejo, beneficiamento, aproveitamento de resíduos, gestão e coordenação de projetos que envolvam organismos e sistemas aquáticos, administração e gerenciamento de projetos de produção aquícola, atuando na gestão global da aquicultura e na prestação de consultoria e assessoria técnica. Atuou como Consultor da FAO/ONU e do Ministério da Pesca e Aquicultura. Atuou como Professor Colaborador/Voluntário no IFAM (Instituto Federal do Amazonas) Campus Avançado de Manacapuru e Professor Efetivo no IFAM Campus Lábrea, como também foi Coordenador do Curso Técnico em Recursos Pesqueiros. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) Campus Cruz das Almas atuando no curso de Engenharia de Pesca e é Coordenador da Área de Conhecimento "Produção Animal" do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

**JACKSON PANTOJA-LIMA -** Tem formação técnica em Recursos Pesqueiros de Águas Continentais pela Escola Agrotécnica Federal de Manaus (1998), graduado em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal do Amazonas (2003), mestrado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior (2007) e Doutorado em Ecologia (2012) pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) Campus Presidente Figueiredo. Representou o IFAM no Conselho Estadual de Pesca e Aquicultura do Amazonas - CONEPA. Atuou como membro do Conselho Nacional de Pesca e Aquicultura do Ministério da Pesca e Aquicultura. Atua como professor/orientador permanente no Mestrado e Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueira nos Trópicos - CIPET e Ciência Animal (PPGCAN), ambos da UFAM. Tem experiência em aquicultura e ecologia aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: piscicultura na Amazônia, nutrição, manejo alimentar, conservação de quelônios e jacarés, etnoecologia, diagnósticos rurais participativos, manejo de lagos e pesca de subsistência na Amazônia.

**ADRIANO TEIXEIRA DE OLIVEIRA -** Bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq. É graduado em Biologia pela Universidade do Estado do Amazonas (2005), possui Mestrado (2008) e Doutorado(2013) em Diversidade Biológica pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). É professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), atuando no Campus Manaus Centro. É professor permanente no Programa de Pós Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos (CIPET) da UFAM e do Programa de Pós Graduação Profissional de Ensino Tecnológico do IFAM. Atua na linha de pesquisa de Ecofisiologia Comparada, onde desenvolve pesquisas na área de hematologia, citoquímica e ultraestrutura, associada aos ambientes naturais em peixes ornamentais, peixes comestíveis, jacarés, testudineos e com especial ênfase nas arraias de água doce. Também vem atuando na linha de pesquisa de etnoictiologia de peixes ornamentais, peixes empregados na pesca esportiva e comestível. Atua em

metodologias alternativas para o ensino dos integrantes do reino Animal e suas correlações diretas e indiretas na área Biológica.

**PAULO HENRIQUE ROCHA ARIDE -** Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Santa Úrsula (1995), mestrado e doutorado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (1998/2003). Atualmente é Professor Permanente do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia (IFAM - Campus Manaus Centro), Professor Permanente do Programa de Pós Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas (CIPET/UFAM), Professor do ProfEPT (IFES Nacional) e Pesquisador colaborador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (LEEM/INPA). Atuando principalmente nos seguintes temas: Piscicultura, Limnologia, Fisiologia Animal Aplicada e Ecologia.